



Madalena de Sá Carvalho Vaz de Miranda

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

**Avaliação da qualidade do ar em
Cascais através de monitorização
portátil**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia
do Ambiente, perfil de Ordenamento do Território e Impactes
Ambientais

Orientador: Prof. Doutor Francisco Manuel Freire
Cardoso Ferreira, Professor Auxiliar da FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Pedro Manuel Hora Santos Coelho
Arguente: Doutora Susana Marta Lopes Almeida
Vogal: Prof. Doutor Francisco Manuel Freire Cardoso Ferreira



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Março, 2014



Madalena de Sá Carvalho Vaz de Miranda

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

**Avaliação da qualidade do ar em
Cascais através de monitorização
portátil**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia
do Ambiente, perfil de Ordenamento do Território e Impactes
Ambientais

Orientador: Prof. Doutor Francisco Manuel Freire
Cardoso Ferreira, Professor Auxiliar da FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Pedro Manuel Hora Santos Coelho
Arguente: Doutora Susana Marta Lopes Almeida
Vogal: Prof. Doutor Francisco Manuel Freire Cardoso Ferreira



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Março, 2014

Avaliação da qualidade do ar em Cascais através de monitorização portátil

Copyright © Madalena de Sá Carvalho Vaz de Miranda, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer ao Prof. Doutor Francisco Ferreira pelos conselhos, pelo tempo despendido e pelo à vontade que proporciona aos alunos.

À minha família por me ter facultado todos os meios necessários à realização desta tese. Pais, irmãos, tios, todos eles tiveram um papel fundamental nesta fase.

À DCEA-FCT/UNL pela disponibilização do aparelho portátil e à equipa pela disponibilidade em ajudar, em especial ao Pedro Gomes e à Joana Monjardino.

Aos meus amigos, por serem meus amigos.

A mim.

Resumo

A qualidade do ar nas zonas urbanas é influenciada fortemente pelo tráfego rodoviário. Um dos poluentes mais relevantes pelo seu impacto na saúde e associados à circulação de veículos e principalmente aos gases de escape dos veículos a gasóleo são as partículas inaláveis (PM_{10}). O presente trabalho apresenta uma avaliação da exposição pessoal de PM_{10} através de equipamento portátil como complemento à monitorização através de estações de monitorização. Foram realizadas duas campanhas de monitorização (uma semana no verão e outra no inverno) com o objetivo de conhecer os níveis de PM_{10} na vila de Cascais. Os resultados obtidos mostram várias possibilidades de utilização do referido equipamento que constitui uma mais-valia na medição em locais fixos e em percursos. A amostragem incidu em três pontos fixos escolhidos com base em estudos anteriores e em percursos realizados com o objetivo de testar novas formas de recolha de dados, permitindo apoiar a realização de mapas da qualidade do ar.

Cascais apresenta uma boa qualidade do ar, excluindo algumas zonas com maiores concentrações de partículas devidas ao tráfego rodoviário.

No futuro, perspetiva-se a utilização deste tipo de equipamento de medição de baixo custo para fornecer informação em tempo real associada a uma fácil cobertura espacial.

Palavras-chave: monitorização portátil, partículas inaláveis (PM_{10}), qualidade do ar, Cascais

Abstract

Air quality in urban areas is strongly affected by road traffic. One of the most relevant pollutants for its impact on health and related to vehicle circulation, especially exhaust gases from diesel vehicles is inhalable particles (PM_{10}). This work presents an evaluation of the personal exposure of PM_{10} through the use of portable equipment as a complement to the monitoring through air quality stations. Two different monitoring campaigns were made (one in summer and another in winter) with the goal of measuring PM_{10} levels in the village of Cascais. The obtained results show numerous utilization possibilities of the mentioned equipment, which is an asset on measuring in fixed locations and through different walking routes. Sampling took place in three fixed points chosen on the basis of different studies and in walking routes with the objective of testing new ways of data collection, allowing the creation of air quality maps.

Air quality in Cascais is satisfactory, excluding some areas with higher concentrations of particles due to road traffic.

In the future, it is foreseen the use of this type of low cost equipment measurements to supply real-time information associated to an easy spatial coverage.

Keywords: portable monitoring, inhalable particles (PM_{10}), air quality, Cascais

ÍNDICE DE MATÉRIAS

1.	Introdução	1
1.1.	Enquadramento	1
1.2.	Objetivos da dissertação	6
1.3.	Estrutura da dissertação	6
2.	Revisão da literatura	9
2.1.	Poluição do ar	9
2.2.	Qualidade do ar em zonas urbanas	10
2.3.	Aspetos meteorológicos relevantes para a poluição do ar	12
2.4.	Poluentes e impactes na saúde humana	14
2.5.	Partículas em suspensão	16
2.6.	Enquadramento legislativo	21
2.7.	Monitorização da qualidade do ar	24
2.7.1.	Tecnologias tradicionais	24
2.7.2.	Novas tecnologias	27
3.	Caso de estudo – Cascais	37
3.1.	Caracterização da zona de estudo	37
3.2.	Estudos realizados no concelho relacionados com qualidade do ar	39
4.	Metodologia	41
4.1.	Campanha de verão	45
4.2.	Campanha de inverno	46
5.	Análise e discussão dos resultados	49
5.1.	Análise dos dados da estação de qualidade do ar de Cascais – Cascais-Mercado ..	49
5.2.	Campanha de verão	53
5.3.	Campanha de inverno	62
5.4.	Limitações	73
6.	Recomendações	75
7.	Conclusões	79
	Referências bibliográficas	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Concentração média anual (2001, 2003, 2005, 2007, 2009 e 2011) de partículas inaláveis (PM ₁₀) na Europa	3
Figura 2.1 – Concentração média horária de NO ₂ e PM ₁₀ no ano 2011 na estação de monitorização da qualidade do ar situada na Avenida da Liberdade	12
Figura 2.2 – Pirâmide dos efeitos da poluição do ar na saúde humana	15
Figura 2.3 – Efeitos dos poluentes na saúde humana	16
Figura 2.4 – Distribuição das partículas atmosféricas por tamanhos e processos de formação	17
Figura 2.5 – Tamanho das partículas inaláveis	18
Figura 2.6 – Emissões nacionais de PM _{2,5} por setor, referentes ao ano de 2011	19
Figura 2.7 – Esquema da evolução da legislação europeia e nacional	22
Figura 2.8 – Interior de uma EQA	25
Figura 2.9 – Amostrador pessoal utilizado para a avaliação da exposição pessoal no projeto PM Lx	26
Figura 2.10 – Visualização no <i>smartphone</i> dos dados recolhidos pelo CitiSense	28
Figura 2.11 – Dispositivo CitiSense	28
Figura 2.12 – Interior do CitiSense com destaque para os três sensores eletroquímicos que medem monóxido de carbono, ozono e dióxido de azoto.	28
Figura 2.13 – Interior do MSB	30
Figura 3.1 – Concelho e freguesias de Cascais	37
Figura 4.1 – Amostrador portátil (sidepak)	41
Figura 4.2 – Localização dos pontos fixos de recolha (local 1, 2 e 3)	42
Figura 4.3 – Local 1 (jumbo)	42
Figura 4.4 – Local 2 (varanda do CascaisVilla)	43
Figura 4.5 – Local 3 (av. Dom Pedro I)	43
Figura 4.6 – Trajeto do percurso 1	44
Figura 4.8 – Metodologia utilizada na campanha de verão	46
Figura 4.7 – Trajeto do percurso 2	45
Figura 4.9 – Metodologia utilizada na campanha de inverno	46
Figura 5.1 – EQA Cascais-Mercado	49
Figura 5.2 – Concentração média anual de partículas inaláveis (PM ₁₀) nos últimos cinco anos e respetivo número de excedências anuais ao valor limite diário	50
Figura 5.4 – Perfil médio horário da concentração de partículas inaláveis (PM ₁₀) com base nos dados dos últimos cinco anos	51
Figura 5.3 – Perfil médio diário da concentração de partículas inaláveis (PM ₁₀) com base nos dados dos últimos cinco anos	51
Figura 5.5 – Perfil médio horário das concentrações de partículas inaláveis (PM ₁₀) durante as semanas em que ocorreram ambas as campanhas (dados da EQA)	52
Figura 5.6 – Concentração média de partículas inaláveis (PM ₁₀) no Jumbo	54
Figura 5.7 – Concentração média de partículas inaláveis (PM ₁₀) na varanda do CascaisVilla ..	54

Figura 5.8 – Concentração média de partículas inaláveis (PM_{10}) na avenida Dom Pedro I	55
Figura 5.9 – Mapa da concentração média de partículas inaláveis (PM_{10}) no percurso 1, em $\mu g/m^3$	57
Figura 5.10 – Perfil da concentração média de partículas inaláveis (PM_{10}) no percurso 1	58
Figura 5.11 – Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM_{10}) no percurso 2, em $\mu g/m^3$	60
Figura 5.12 – Perfil da concentração média de partículas inaláveis (PM_{10}) no percurso 2	61
Figura 5.13 – Concentração média de partículas inaláveis (PM_{10}) no Jumbo e na varanda do CascaisVilla	63
Figura 5.14 – Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM_{10}) no percurso 1, em $\mu g/m^3$	65
Figura 5.15 – Perfil da concentração média de partículas inaláveis (PM_{10}) no percurso 1	66
Figura 5.16 – Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM_{10}) no percurso 2, em $\mu g/m^3$	68
Figura 5.17 – Perfil da concentração média de partículas inaláveis (PM_{10}) no percurso 2	69
Figura 5.18 – Concentração de partículas inaláveis (PM_{10}) na Av. Dom Pedro I, a 40 cm acima do solo, das 9h às 10h	72
Figura 5.19 – Concentração de partículas inaláveis (PM_{10}) na Av. Dom Pedro I, a 80 cm acima do solo, das 10h03 às 11h03	72

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Fontes de partículas finas e partículas grosseiras.....	19
Tabela 2.2 – Alguns efeitos das partículas na saúde humana, consoante o tipo de exposição	20
Tabela 2.3 – Valores limite para as partículas (PM ₁₀ e PM _{2,5}).....	23
Tabela 2.4 – Métodos tracionais versus métodos inovadores	35
Tabela 5.1 – Eficiência da EQA Cascais-Mercado nos últimos cinco anos	50
Tabela 5.2 – Concentração média de partículas inaláveis (PM ₁₀) durante os cinco dias de cada campanha (dados da EQA), em µg/m ³	52
Tabela 5.3 – Valores semanais de temperatura (°C) e velocidade do vento (m/s)	53
Tabela 5.4 – Concentração média de partículas inaláveis (PM ₁₀) registadas no Jumbo e na varanda do CascaisVilla, em µg/m ³	55
Tabela 5.5 – Concentração média de partículas inaláveis (PM ₁₀) registadas na EQA e medidas através do equipamento portátil durante a semana da campanha.....	56
Tabela 5.6 – Concentração média de partículas inaláveis (PM ₁₀) nos dois percursos realizados, em µg/m ³	56
Tabela 5.7 – Valores semanais de temperatura (°C) e velocidade do vento (m/s) (WindGURU, 2014)	62
Tabela 5.8 – Concentração média de partículas inaláveis (PM ₁₀) nos dois percursos realizados, em µg/m ³	63
Tabela 5.9 – Concentração média de partículas inaláveis (PM ₁₀) por percurso e por campanha em µg/m ³	70
Tabela 5.10 – Concentração média de partículas inaláveis (PM ₁₀) na Av. Dom Pedro I, no dia 17 de março de 2014	71

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

CCDR – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional

CCDR-LVT – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo

CMC – Câmara Municipal de Cascais

DCEA-FCT/UNL – Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

DL – Decreto-Lei

EEA – *European Environment Agency*

EPA – *United States Environmental Protection Agency*

EQA – Estação de monitorização da qualidade do ar

FCT/UNL – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

GIS – *Geographic Information System* (sistema de informação geográfica)

GPS – *Global Positioning System* (sistema de posicionamento global)

IARC – *International Agency for Research on Cancer* (Centro internacional para a investigação do cancro)

OMS – Organização Mundial de Saúde

NASA – *National Aeronautics and Space Administration (USA)*

PECAC – Plano Estratégico de Cascais face às Alterações Climáticas

PM – *Particulate matter* (matéria particulada)

PM₁₀ – Partículas em suspensão suscetíveis de passar através de um filtro seletivo com 50% de eficiência para um diâmetro aerodinâmico de 10 µm. Partículas grosseiras

PM_{2,5} – Partículas em suspensão suscetíveis de passar através de um filtro seletivo com 50% de eficiência para um diâmetro aerodinâmico de 2,5 µm. Partículas finas

UE – União Europeia

USB – *Universal Serial Bus*

VL – Valor limite

ZER – Zona de Emissões Reduzidas

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

A deficiente qualidade do ar em diversas regiões do globo, nomeadamente nos centros urbanos de grande dimensão populacional, continua a ser um assunto muito atual, principalmente pelos impactes na saúde humana. Não é uma questão recente nem tão pouco fácil de resolver, uma vez que se trata de um problema que assume também uma escala global. O transporte e a dispersão dos poluentes acontecem devido às condições meteorológicas e à circulação geral da atmosfera, o que confere um carácter transfronteiriço a este tipo de poluição e faz com que a mesma não seja sentida de igual forma em todo o lado (EEA, 2013a). O termo “poluição atmosférica” refere-se à presença de poluentes no ar em quantidades susceptíveis de causar danos na saúde humana, e/ou nos ecossistemas e/ou nos materiais.

Os poluentes chegam à atmosfera por emissão de fontes naturais ou de fontes antropogénicas. Nas fontes de poluição naturais, cujas emissões de poluentes não são causadas por atividades humanas, incluem-se as catástrofes naturais, tais como incêndios florestais, atividade vulcânica, tempestades de areia e as emissões provenientes da vegetação e dos oceanos. As emissões de origem antropogénica, emitidas direta ou indiretamente pelo Homem e pelas suas atividades, constituem a maior causa de poluição atmosférica devido ao enorme número e expressão de fontes poluidoras próximas dos recetores (Kampa e Castanas, 2007).

O aumento do uso de combustíveis fósseis durante o século passado é responsável pela progressiva mudança da composição da atmosfera (Kampa e Castanas, 2007). Passados cerca de 60 anos do “*great smog*” em Londres, a qualidade do ar na Europa melhorou substancialmente. Embora o volume de poluentes emitidos tenha vindo a diminuir desde que a União Europeia (UE) introduziu políticas e medidas relacionadas com a qualidade do ar, na década de 70, a poluição atmosférica continua a provocar efeitos negativos na saúde e a reduzir a qualidade de vida dos cidadãos (EEA, 2013a). A relação entre o decréscimo de emissões e a qualidade do ar não é uma relação direta pelo facto de a qualidade do ar não ser apenas afetada pelas emissões locais mas também pelas interações entre os poluentes e pelo seu transporte na atmosfera, pelas emissões de origem natural e pelas condições meteorológicas (Perez *et al.*, 2006). Alguns poluentes permanecem na atmosfera o tempo suficiente para serem transportados entre países, entre continentes e até mesmo à volta do globo. Entre 2001 e 2010 as emissões diretas de partículas finas e grosseiras (PM_{2,5} e PM₁₀, respetivamente) diminuíram 14% na UE; contudo os níveis de partículas continuam elevados (EEA, 2013b).

É nas grandes áreas metropolitanas que se concentram as maiores fontes de poluição, uma vez que estas se encontram em constante crescimento, populacional e territorial. Consequentemente, são emitidas grandes quantidades de poluentes para a atmosfera,

principalmente associados à queima de combustíveis fósseis (Rojas, 2013). Segundo o “*Air quality report*” de 2013 (EEA, 2013c), nove em cada dez cidadãos de cidades europeias estão expostos a uma concentração de poluentes atmosféricos acima dos limites propostos pela OMS (Organização Mundial de Saúde) e, segundo dados da agência europeia do ambiente (EEA, do inglês *European Environment Agency*) referentes a 2013, quase um em cinco cidadãos europeus sofre de problemas respiratórios (não necessariamente ligados com a poluição do ar).

Os poluentes atmosféricos emitidos num certo local podem contribuir para uma má qualidade do ar noutro lugar (EEA, 2013c), o que faz com que não seja apenas nas cidades que os níveis de poluição ultrapassem os limites legislados. Algumas zonas rurais também apresentam níveis elevados de poluição; é o caso de parte dos poluentes e precursores encontrados na Europa serem emitidos na Ásia e na América do Norte, assim como parte dos poluentes emitidos na Europa serem transportados para outros continentes (EEA, 2013b).

Dados da OMS publicados em 2005 (WHO, 2005), indicam que cerca de dois milhões de pessoas morrem anualmente devido à poluição do ar (interior e exterior). Mais recentemente, um estudo realizado pelo Centro Internacional para a Investigação do Cancro (IARC), agência especializada da OMS (IARC, 2013), levou a que, em outubro de 2013, a poluição atmosférica passasse a integrar a lista de agentes cancerígenos, o que leva a crer que este tipo de poluição é ainda mais prejudicial do que se pensava. O mesmo estudo identifica os transportes, as estações de produção de energia, as emissões industriais e agrícolas e o aquecimento doméstico como sendo as principais fontes emissoras de poluentes a nível mundial.

A publicação do relatório “*Air quality in Europe*” (EEA, 2013c), que analisa a qualidade do ar na Europa entre 2002 e 2011, vem confirmar que, apesar de os níveis de emissão terem reduzido nas últimas décadas, o problema da poluição do ar neste continente está longe de ser resolvido. As partículas inaláveis ($PM_{2,5}$ e PM_{10}), e o ozono (O_3) continuam a ser uma importante causa de problemas de saúde.

Os mapas da Figura 1.1 apresentam as concentrações médias anuais referentes ao poluente PM_{10} na Europa, calculadas com base nas médias diárias com pelo menos 75% das médias válidas. Os valores estão expressos em $\mu g/m^3$, provêm da rede e estações de monitorização da qualidade do ar e representam os anos de 2001, 2003, 2005, 2007, 2009 e 2011.

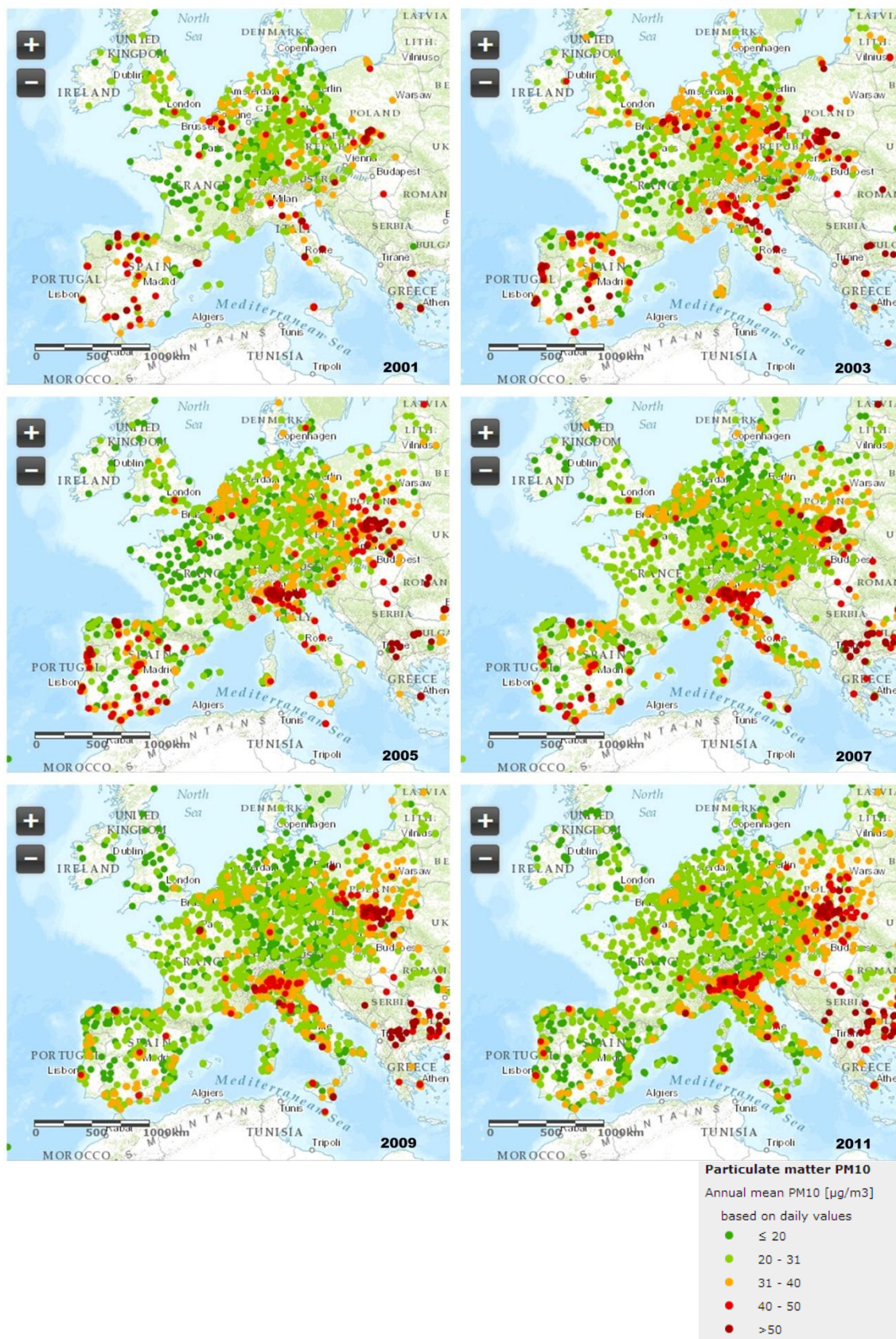


Figura 1.1 – Concentração média anual (2001, 2003, 2005, 2007, 2009 e 2011) de partículas inaláveis (PM₁₀) na Europa (EEA, 2014a)

O número de EQA na Europa está a aumentar, o que se traduz numa base de dados mais completa, explicando assim o aumento de locais nos mapas, ano após ano.

As concentrações médias anuais de PM_{10} diminuíram entre 15 a 20% durante o período 1997 – 2001 (Comissão Europeia, 2004). Em 2001, 34% das 718 EQA europeias excederam os valores limite definidos para 2005. Em 2002 e 2003 houve um aumento das concentrações em alguns países que pode ser explicado pelas condições meteorológicas (Comissão Europeia, 2004).

À exceção de 2002 e 2003, a evolução da concentração de PM_{10} tende a ser positiva (o que se traduz em concentrações mais baixas) mas podem ainda identificar-se vários aglomerados com níveis elevados de PM_{10} . Os países nórdicos apresentam médias mais baixas que o resto da Europa. No caso concreto de Portugal, nota-se uma melhoria na qualidade do ar nas zonas de Lisboa e Porto, provavelmente devido à melhoria da frota automóvel; nota-se também um aumento do número de EQA, nomeadamente no interior do país.

Hoje em dia, as partículas em suspensão (PM_{10} e $PM_{2,5}$) e o ozono troposférico (O_3) são reconhecidos como os dois poluentes que mais afetam a saúde humana, sendo as partículas consideradas o poluente mais preocupante a nível de saúde (EEA, 2013d). Dados de 2013 indicam que a esperança média de vida dos habitantes da UE já teve uma redução de 8,6 meses devido à exposição a $PM_{2,5}$ (WHO, 2013). Vários trabalhos têm sido realizados com o intuito de analisar os efeitos que as partículas têm na saúde humana, bem como a sua gravidade, como é o caso dos estudos elaborados por Bell *et al.*, 2004; WHO, 2004; Pope III e Dockery, 2006; Ostro *et al.*, 2011; Stafoggia *et al.*, 2013. Estes estudos confirmam a existência de uma relação entre o nível de partículas no ar ambiente e o número de entradas em hospitais devido a problemas respiratórios. Torna-se assim possível concluir que existe uma forte associação entre as concentrações deste poluente e a saúde da população exposta, seja a exposição prolongada ou de curta duração.

Mas não é apenas a saúde humana que é afetada pelas partículas. Existem também outros efeitos a combater, como por exemplo a degradação de monumentos e de edifícios, que resultam num aumento dos custos de limpeza e manutenção dos mesmos.

Borrego *et al.*, 2009, afirmam que a costa oeste de Portugal atinge níveis elevados de PM_{10} , especialmente no inverno e durante o período noturno. Este facto pode ser explicado pela combustão de madeira em casas particulares, para fins de aquecimento. Um outro trabalho desenvolvido por Puxbaum *et al.*, 2007, mostra que Portugal foi o país, de entre todos os que fizeram parte do estudo (Europa central e ocidental), que registou uma sazonalidade mais acentuada na contribuição da queima de biomassa para os níveis de PM (*Particulate Matter*), com as maiores concentrações no inverno e as menores no verão.

O setor rodoviário tem bastante expressão nos níveis de poluição atmosférica em Portugal. Dados de 2013 divulgados pela EEA (EEA, 2013c) revelam que Portugal é o segundo, de 25 países europeus, cujas concentrações horárias registadas nas estações de tráfego mais têm vindo a aumentar, nomeadamente no que se refere ao NO₂. Em 2002, Ferreira *et al.*, afirmam que as PM constituem o poluente mais problemático nas regiões de Lisboa e Porto. O setor rodoviário é o principal responsável pelas elevadas concentrações deste poluente nos dois maiores aglomerados do país, pois são zonas densamente povoadas. A emissão de partículas, ao contrário dos outros poluentes de tráfego, resulta não apenas do processo de combustão (em particular nos veículos a gasóleo), mas também do desgaste dos pneus, dos travões e da suspensão e da ressuspensão que ocorre na via.

Para se verificar se os limites legais de concentração estão a ser cumpridos é necessário haver uma monitorização contínua da qualidade do ar. Existem várias maneiras de monitorizar os poluentes atmosféricos sendo a mais comum e tradicional a utilização de estações fixas (EQA), que permitem verificar a qualidade do ar ao mesmo tempo em diferentes locais, através da medição da concentração de cada poluente no ar. Com a existência de várias estações fixas é criada uma rede de monitorização que contribui para o conhecimento acerca da poluição do ar. Quando o objetivo é específico e se pretende avaliar num curto espaço de tempo, podem realizar-se campanhas pontuais utilizando amostradores com maior ou menor exatidão e precisão, funcionando de forma instantânea ou apresentando médias para períodos definidos.

A interpretação e estudo dos dados oriundos da monitorização permitem detetar e solucionar problemas, sempre com o intuito de cumprir a legislação e proteger a saúde humana. Sabe-se que, por mínima que seja, uma melhoria na qualidade do ar pode resultar não só em ganhos de saúde mas também em poupanças económicas. Com uma melhor qualidade de vida os cidadãos terão menos problemas de saúde, a sua produtividade aumentará (não terão de faltar ao trabalho por estarem doentes), bem como a esperança média de vida, e os custos médicos serão reduzidos (EEA, 2013b).

Torna-se então fundamental a monitorização e controlo das concentrações de PM₁₀ e de PM_{2,5} para que se possa proteger a saúde humana. Daqui resulta a escolha e o interesse em analisar o nível de PM₁₀ no ar ambiente do concelho de Cascais. Dados do plano estratégico de Cascais face às alterações climáticas (PECAC) demonstram que este concelho é afetado pela elevada concentração de partículas no ar (Casimiro *et al.*, 2010). Estima-se que em 2007 tenham ocorrido 13 mortes devido a problemas cardiovasculares – um dos problemas causados por este poluente específico (Casimiro *et al.*, 2010). Um trabalho realizado pela FCT/UNL em 2012 identificou zonas críticas de poluição atmosférica, entre elas o núcleo populacional de Cascais, área sobre a qual se debruça esta dissertação (DCEA-FCT/UNL, 2012).

1.2. Objetivos da dissertação

O ano de 2013 foi considerado pela União Europeia como o “ano do ar”. Nesse espaço temporal, deu-se especial atenção à temática da poluição do ar e tudo o que envolve a mesma. O grande objetivo da UE foi o de alertar e sensibilizar os cidadãos para a gravidade deste problema e dar a conhecer os seus impactes na saúde (APA, 2013). Os europeus queixam-se de falta de informação: menos de 20% da população europeia tem conhecimento das melhorias ocorridas na qualidade do ar nos últimos anos. A grande maioria pensa que a qualidade do ar que respiram tem vindo a deteriorar-se nos últimos 10 anos, o que não é verdade. Três em cada cinco europeus não se sentem informados acerca dos problemas da qualidade do ar no seu país (EEA, 2013b). Neste contexto, torna-se essencial comunicar publicamente os aspetos relacionados com este problema, não só para que a população tenha conhecimento do estado do ar que respira mas para que também se consiga reduzir e minimizar os impactes da exposição a níveis elevados. Pessoas com problemas respiratórios ou cardiovasculares e outros grupos de pessoas sensíveis (crianças e idosos) devem evitar a exposição e, tendo acesso ao estado da qualidade do ar na sua cidade em tempo real, podem-se evitar problemas de saúde graves.

A ação ao nível do município é mais concreta e objetiva, uma vez que, geralmente, são as autoridades locais e regionais a colocar em prática as políticas e medidas de melhoria da qualidade do ar. Para melhores resultados, torna-se essencial a interação entre as autoridades locais de várias zonas, pois poder-se-á discutir ideias, trocar informação e definir uma melhor estratégia de atuação.

É objetivo desta dissertação avaliar a qualidade do ar que a população de Cascais respira e fornecer informações úteis às autoridades locais (câmara municipal, juntas de freguesia, agências de ambiente). Será apresentada informação respeitante a duas campanhas de monitorização (uma no verão e outra no inverno, ambas com a duração de cinco dias úteis), cujos dados culminarão num mapa da qualidade do ar do município. A metodologia e o amostrador utilizados constituem uma técnica que pretende, no futuro, envolver a população na monitorização da qualidade do ar e na medição dos níveis de exposição pessoal. A ideia será tornar este método numa base de dados em que, com a devida permissão, seja possível acrescentar valores e criar uma rede de monitorização da qualidade do ar em Cascais, possibilitando a participação ativa da população neste processo.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação é constituída por sete capítulos. Inicia com uma introdução onde é exposto o tema e feito o enquadramento, que dá conta da situação da qualidade do ar no mundo, na Europa e em Portugal, e onde são definidos os objetivos deste trabalho.

Na revisão da literatura, segundo capítulo, encontra-se informação detalhada sobre a poluição e a qualidade do ar. São abordados diversos assuntos relacionados com o tema: os vários poluentes atmosféricos e os seus impactes na saúde e nos ecossistemas, com particular incidência sobre as partículas, faz-se o enquadramento legislativo, referem-se os aspetos meteorológicos que condicionam a qualidade do ar, definem-se e comparam-se duas formas de monitorizar o ar, entre outros.

Feita a análise sobre o tema, introduz-se o caso de estudo. Descreve-se física e geograficamente a zona, fornece-se informação sobre o estado de saúde da população concelhia e enumeram-se estudos já realizados em Cascais, dando a conhecer os resultados principais.

No capítulo 4 está referida a metodologia de trabalho utilizada na realização das campanhas e no tratamento dos dados resultantes das mesmas.

A análise e discussão de resultados (capítulo 5) expõe, de forma ordenada, os resultados que foram obtidos empregando a metodologia antes descrita.

No capítulo 6 encontram-se algumas recomendações cujo objetivo é inerente a todas: melhorar a qualidade do ar e proteger a saúde humana.

Por último, no capítulo 7 são apresentadas as conclusões obtidas com a execução deste trabalho.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Poluição do ar

Por definição legal, um poluente é qualquer substância presente no ar ambiente que possa ter efeitos nocivos na saúde humana e/ou no ambiente (DL n.º 102/2010, de 23 de setembro). Segundo a EEA, a poluição do ar ocorre quando existe a presença de substâncias contaminantes ou poluentes no ar a uma concentração tal que possa interferir com a saúde ou bem-estar humano ou suscetível de produzir efeitos nocivos no ambiente. Esses poluentes chegam à atmosfera através de duas grandes fontes: naturais ou antropogénicas. As fontes naturais dizem respeito aos fenómenos que ocorrem na natureza, ou seja, não são causadas pelo homem nas suas atividades. As fontes antropogénicas estão relacionadas com as atividades praticadas pelo homem. As fontes emissoras podem ser fixas ou móveis. As fixas (ou estacionárias), como por exemplo as indústrias, são aquelas que emitem poluentes a partir de um local exato. As fontes móveis, tais como automóveis, são as que não estão fixas, ou seja, emitem em vários locais e dispersam assim os poluentes por diversas áreas.

O monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO₂), os óxidos de azoto (NO_x), os compostos orgânicos voláteis (COV), o ozono (O₃), os metais pesados e as partículas inaláveis (PM_{2,5} e PM₁₀) constituem os principais poluentes atmosféricos e diferem em termos de propriedades, no tempo de formação e destruição e na capacidade de se difundirem em distâncias curtas ou longas. Todos eles prejudicam a saúde humana pois afetam, de forma aguda ou crónica, os diferentes sistemas e órgãos do corpo humano (Kampa e Castanas, 2007).

Para além dos riscos que acarreta para a saúde humana, a poluição do ar também provoca impactos no ambiente, nos ecossistemas e nos materiais. Estima-se que, atualmente, dois terços das áreas protegidas pela rede Natura 2000 da UE estão sob ameaça da poluição do ar (EEA, 2013c). O impacto da poluição atmosférica no ambiente depende não só das condições meteorológicas, da localização e das condições de emissão mas também da sensibilidade dos ecossistemas aos metais pesados e da sua sensibilidade para processos de acidificação e eutrofização (EEA, 2013c). A acidificação, deposição de substâncias acidificantes (óxidos de azoto – NO_x, dióxido de enxofre – SO₂ e amoníaco – NH₃) nos solos, rios e lagos resulta na destruição da fauna e da flora e na corrosão de edifícios. A eutrofização, causada pelo excesso de nutrientes (NH₃ e de NO_x) na água ou no solo, reduz a biodiversidade dos ecossistemas e pode conduzir à introdução de espécies invasoras. O ozono troposférico (O₃), ou ozono ao nível do solo, torna-se prejudicial para a vegetação, reduz o rendimento das culturas agrícolas e degrada certos materiais, como a borracha (Perez *et al.*, 2006). O ozono é ainda o principal constituinte do nevoeiro fotoquímico (*smog*) e prejudica o sistema respiratório dos humanos e dos animais. Os metais pesados e os poluentes orgânicos persistentes são também prejudiciais para o ambiente devido à sua toxicidade e à tendência para bioacumular.

Embora a poluição atmosférica e as alterações climáticas sejam problemas distintos, estes estão relacionados, direta ou indiretamente, em alguns aspetos, nomeadamente pela interferência de alguns poluentes no aquecimento global. Por exemplo, o metano (CH_4) pode permanecer até 12 anos e o dióxido de carbono (CO_2) pode perdurar 100 anos na atmosfera. O O_3 e as PM têm um tempo de vida que vai desde os dias às semanas e também afetam o clima (EEA, 2013c). O O_3 contribui para o aquecimento global, pois as suas moléculas absorvem parte da energia emitida pelo planeta; no caso das partículas, dependendo da sua composição química, estas podem provocar o aquecimento do clima (aquando a presença de carbono negro, geralmente nas $\text{PM}_{2,5}$) ou o arrefecimento (quando há presença de sulfatos e nitratos) (EPA, 2012; Boucher *et al.*, 2013). As partículas podem ainda provocar mudanças no clima ao afetar as propriedades das nuvens e da chuva.

2.2. Qualidade do ar em zonas urbanas

Cerca de 80% da população europeia reside em zonas urbanas (Comissão Europeia, 2000). Estas zonas são caracterizadas por uma elevada densidade populacional e por um desenvolvimento económico que se traduz na presença de áreas industriais, de serviços e onde o tráfego rodoviário é mais intenso (principal responsável pelo aumento dos níveis de poluição atmosférica), tornando este problema uma questão de saúde pública a nível europeu (Comissão Europeia, 2000). As fontes emissoras são várias mas, como todas se baseiam no uso de combustíveis fósseis, acabam por emitir os mesmos poluentes, apenas em proporções diferentes (Fenger, 1999).

A relação entre as emissões e a qualidade do ar varia no tempo e no espaço (Borrego *et al.*, 2010). Nas cidades, a existência de edifícios elevados, de ruas estreitas e de elevado tráfego em zonas de cota baixa faz com que o escoamento de ar à superfície seja insuficiente para dispersar os poluentes emitidos localmente pelo tráfego, principalmente. Importa referir que a qualidade do ar em zonas urbanas depende ainda, para além das características topográficas e arquitectónicas do local, das condições meteorológicas, da tipologia e distribuição espacial das fontes emissoras e da quantidade de poluentes emitidos pelas mesmas (Rojas, 2013). Isto faz com que a relação entre as emissões e a qualidade do ar não seja uma relação linear mas complexa.

Verifica-se assim uma degradação do ambiente no espaço urbano, pois é nas áreas mais densamente povoadas ou com algum peso industrial que ocorre o maior número de episódios de poluição atmosférica. Apesar de, na UE, os níveis de poluição já não serem tão elevados como há 30 anos atrás (devido à implementação de ações e medidas), altura em que as principais causas eram a atividade industrial e o aquecimento doméstico, o aumento do tráfego automóvel constitui agora o principal motivo para uma má qualidade do ar e, consequentemente, uma ameaça à saúde (Borrego *et al.*, 2000). Segundo dados da UE referentes ao ano 2000, metade das viagens de automóvel realizadas dentro dos grandes

centros urbanos são para percorrer, em média, distâncias inferiores a 6 km (Comissão Europeia, 2000).

O automóvel particular continua a ser o modo de transporte preferido dos cidadãos devido, principalmente, ao aumento das dimensões das cidades ter levado à criação de zonas suburbanas, na periferia das cidades, e, conseqüentemente, ao aumento da distância entre as zonas residenciais e os locais de trabalho. Sendo a circulação feita maioritariamente dentro da cidade, as velocidades médias são relativamente baixas, o que provoca maior emissão de poluentes.

A qualidade do ar é o termo que se usa para traduzir o grau de poluição no ar que respiramos (APA, 2014a). Em Portugal, o estado da qualidade do ar é expresso através de um índice, disponibilizado ao público diariamente pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA). O índice de qualidade do ar engloba o dióxido de azoto (NO_2), o dióxido de enxofre (SO_2), o monóxido de carbono (CO), o ozono (O_3) e as partículas finas/inaláveis (PM_{10}) e resulta dos maiores valores de concentração destes cinco poluentes numa determinada zona. A classificação baseia-se numa escala de cinco níveis para cada poluente: mau, fraco, médio, bom e muito bom.

Grande parte da população portuguesa reside na zona litoral do país. Em 2000, Borrego *et al.* afirmam que 80% do território português é povoado por apenas 20% da população, sendo que a restante está concentrada no litoral, principalmente em Lisboa e no Porto. Isto faz com que a circulação automóvel, com base em movimentos pendulares, seja elevada nos grandes centros urbanos, levando a que as cidades apresentem, normalmente, concentrações de poluentes mais elevadas, quando comparadas com as concentrações nos arredores (Vos *et al.*, 2012). Esta dependência do automóvel e dos transportes acarreta vários problemas, dos quais se destacam os custos ambientais advindos da poluição atmosférica, a ocorrência de poluição sonora e a emissão de gases com efeito de estufa (contribuindo para o aquecimento global e conseqüentes alterações climáticas), problemas estes que têm como conseqüências o agravamento do estado de saúde e a degradação de infraestruturas (Almeida, 2010). Considerados fontes móveis de origem antropogénica, os automóveis são responsáveis pela emissão de poluentes cujas quantidades dependem do tipo de combustível utilizado pelo veículo. Poluentes como o dióxido de carbono (CO_2), o monóxido de carbono (CO), os compostos orgânicos voláteis (COV), o benzeno (C_6H_6) e os óxidos de azoto (NO_x) são comuns a todos os transportes rodoviários. Se o combustível for gasóleo (diesel), existe maior emissão de PM e NO_x . O NO provém essencialmente da queima de combustíveis fósseis a altas temperaturas e, uma vez emitido para a atmosfera, é transformado em NO_2 por oxidação fotoquímica (Comissão Europeia, 2004). Os veículos a gasolina emitem mais quantidade de CO e de hidrocarbonetos.

Como se pode verificar através da Figura 2.1, os poluentes de tráfego partículas e dióxido de azoto, apresentam comportamentos semelhantes ao longo do dia: durante a noite os valores

decrecem e começam a aumentar de madrugada, altura em que as pessoas começam a deslocar-se para o emprego, sendo os seus picos de concentração durante as horas de ponta; acabada a hora de ponta da manhã, os valores começam novamente a descer, aumentando de novo na hora de ponta da tarde; quando o trânsito acalma novamente, os valores decrescem constantemente ao longo da noite (Brás, 2012).

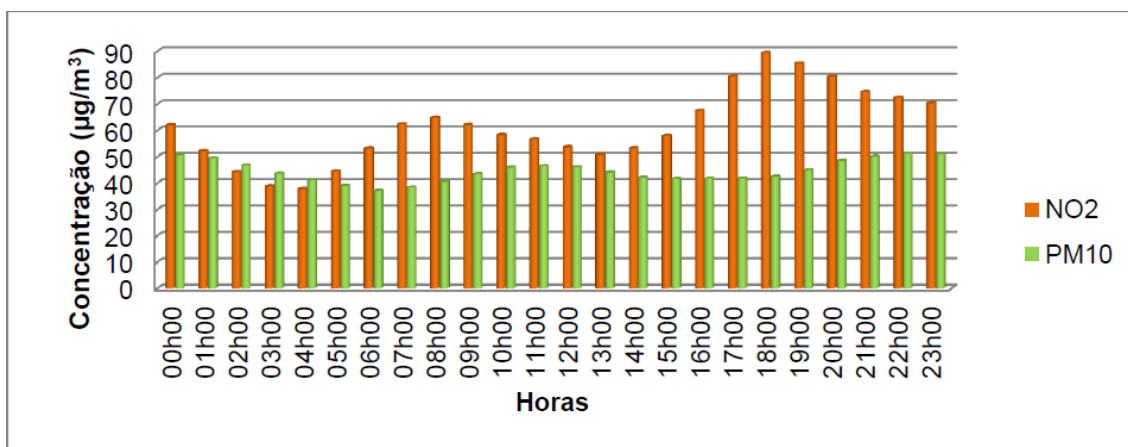


Figura 2.1 – Concentração média horária de NO₂ e PM₁₀ no ano 2011 na estação de monitorização da qualidade do ar situada na Avenida da Liberdade (Brás, 2012)

Comparando o horário em que ocorrem os níveis mais elevados dos dois poluentes, é possível notar-se um certo “atraso” entre as concentrações das partículas e os níveis de tráfego (concentrações de NO₂). Este atraso está associado principalmente ao facto de este poluente não ter características idênticas às de um gás.

Ao nível das emissões devidas ao setor dos transportes, a atuação da UE divide-se em duas frentes: regular emissões por parte dos veículos (obrigando os construtores a aperfeiçoarem os seus modelos e os condutores a mantê-los em boas condições) e, por outro lado, regular a qualidade dos combustíveis, de forma a incorporarem menos poluentes (Barros *et al.*, 2005).

Contudo, não são apenas as emissões do setor automóvel que afetam a qualidade do ar nas zonas urbanas. O aquecimento doméstico constitui uma importante fonte emissora sazonal. A combustão de madeira nas lareiras liberta PM, COV e CO para a atmosfera, principalmente durante a noite nos meses frios e nas zonas do litoral de Portugal. Um estudo levado a cabo por (Borrego *et al.*, 2010) concluiu que a combustão de madeira para uso doméstico contribui quase com 18% para o total de emissões de PM₁₀ em todo o país, durante o inverno.

2.3. Aspectos meteorológicos relevantes para a poluição do ar

A qualidade do ar está diretamente relacionada com as condições meteorológicas que afetam as várias zonas. Estudos levados a cabo em várias cidades concluem que a influência dos aspetos meteorológicos na qualidade do ar variam de região para região pois as características do local são igualmente importantes (Perez *et al.*, 2006).

Os episódios de elevada poluição podem ser causados por situações meteorológicas diversas. Fatores como as características das fontes de emissão, a topografia do local, o vento e a estabilidade atmosférica fazem com que haja mais ou menos dispersão dos poluentes e permitem que estes se depositem ou não no solo.

Os diferentes aspetos meteorológicos que podem afetar os níveis de poluição à superfície são os seguintes: a temperatura, a direção e a velocidade do vento, a radiação solar incidente, a humidade relativa, a precipitação, a nebulosidade, a pressão e a estabilidade da atmosfera. As condições típicas de verão (alta temperatura, alta humidade e ventos fracos) são desfavoráveis à dispersão dos poluentes e, portanto, conduzem a uma má qualidade do ar (Rojas, 2013).

A maioria dos poluentes apresenta um ciclo sazonal. A concentração de partículas finas é, geralmente, mais elevada durante os períodos de outono/inverno do que no verão devido a condições de maior estabilidade atmosférica. Durante o outono/inverno as frequentes condições atmosféricas de anticiclone favorecem o fenómeno de inversão térmica que constitui uma condicionante à dispersão dos poluentes (DCEA-FCT/UNL, 2012). As inversões térmicas podem conduzir a uma má qualidade do ar, pois funcionam como um limite que impede a mistura vertical dos poluentes, o que faz com que as concentrações se acumulem e não dispersem, levando à recirculação local dos mesmos, nomeadamente das partículas e do ozono.

Os eventos naturais que contribuem para um aumento do nível de partículas na atmosfera passam por: transporte de partículas provenientes de fontes secas, fenómenos geotérmicos, sísmicos ou vulcânicos, incêndios e ressuspensão regional (Norma, 2008). A distância do transporte das partículas depende do tamanho das mesmas. As mais finas podem chegar a afastar-se 5 000 km da zona de origem (Comissão Europeia, 2004; Brás, 2012).

A identificação e avaliação de fenómenos naturais com influência nos níveis de qualidade do ar assume particular importância para Portugal, uma vez que o país é afetado por diversos eventos naturais, como é o caso do transporte de poeiras vindas do deserto do Saara através da deslocação de massas de ar tropical secas, conduzidas pela circulação global da atmosfera (transporta as massas de ar para fora das zonas de formação). Karanasiou *et al.*, 2012, afirmam que cerca de metade da poeira anual registada mundialmente provém do deserto do Sahara, adquirindo assim um papel importante no que respeita à excedência dos valores limite. As concentrações de partículas observadas nas estações de monitorização de qualidade do ar de uma certa região aumentam quando as partículas transportadas nas massas de ar atingem a superfície dessa região. Por estas razões, foi desenvolvida uma metodologia com campo de aplicação na península ibérica, que pretende quantificar a contribuição do transporte de poeiras oriundas dos desertos africanos na concentração de partículas para efeitos de avaliação do cumprimento dos valores limite de PM₁₀ (APA, 2014b).

2.4. Poluentes e impactes na saúde humana

O ar que nos rodeia é composto por uma mistura invisível de gases, partículas e água. O azoto é o principal constituinte da atmosfera (78%), seguido do oxigénio (21%). O restante 1% é composto por árgon, vapor de água, dióxido de carbono, poluentes e outros. De todas as fontes antropogénicas, os transportes são o sector que mais contribui para o aumento dos poluentes. Existem dois tipos de poluentes atmosféricos: os primários e os secundários. Os primários são aqueles que resultam de emissão direta pela fonte. Estes podem ser precursores quando participam na formação de poluentes secundários, poluentes esses que resultam de reações entre poluentes primários e/ou secundários (são formados na atmosfera).

Fatores como a diferente composição dos poluentes, a dose, o tempo de exposição e ainda o facto de não estarmos expostos apenas a um poluente mas sim a uma mistura de vários, levam a uma redução do nível de vida e a problemas de saúde.

Ao estudar os efeitos da poluição do ar na saúde humana, os investigadores enfrentam o desafio de tentar separar os efeitos dos componentes de uma complexa mistura, ou seja, avaliar os efeitos poluente a poluente. Sabe-se que a combinação de vários poluentes pode causar problemas de saúde mais graves do que um poluente sozinho (EPA, 2012b).

Vários estudos (Greenbaum *et al.*, 2001; WHO, 2004; Georgopoulos *et al.*, 2009; Phalen e Phalen, 2013) analisam e comprovam a ligação entre os poluentes existentes na atmosfera e o aparecimento ou agravamento de problemas de saúde (relação concentração-resposta), principalmente em grupos de pessoas sensíveis. Pessoas com problemas de saúde pré-existent, idosos e crianças são grupos particularmente vulneráveis (Zhang *et al.*, 2012).

A exposição, curta ou prolongada, a poluentes atmosféricos resulta na redução da qualidade de vida das pessoas e dos animais, que são afetados tal e qual os humanos. As exposições agudas (exposições de curta duração) a níveis elevados destes poluentes podem causar problemas temporários, tais como irritação nos olhos, dificuldade em respirar, problemas pulmonares e problemas cardiovasculares. A exposição crónica (exposição a longo prazo) origina problemas mais graves, que podem culminar em morte prematura. Importa referir que o termo exposição se refere ao evento que ocorre quando o indivíduo está em contacto com um poluente; não implica inalação ou ingestão do poluente, está apenas relacionada com os níveis de poluentes no ambiente (Duan, 1982). A concentração é uma característica física do ambiente num dado local e tempo (Ferreira, 2007).

Nas áreas urbanas, onde a exposição humana é constante (quer em termos de exposição no ambiente exterior, quer como exposição ocupacional), devido ao elevado número de fontes emissoras e de condições de dispersão mais fracas, a saúde está frequentemente em risco. A Figura 2.2 esquematiza, por ordem de gravidade, os efeitos gerais da poluição do ar na saúde humana.

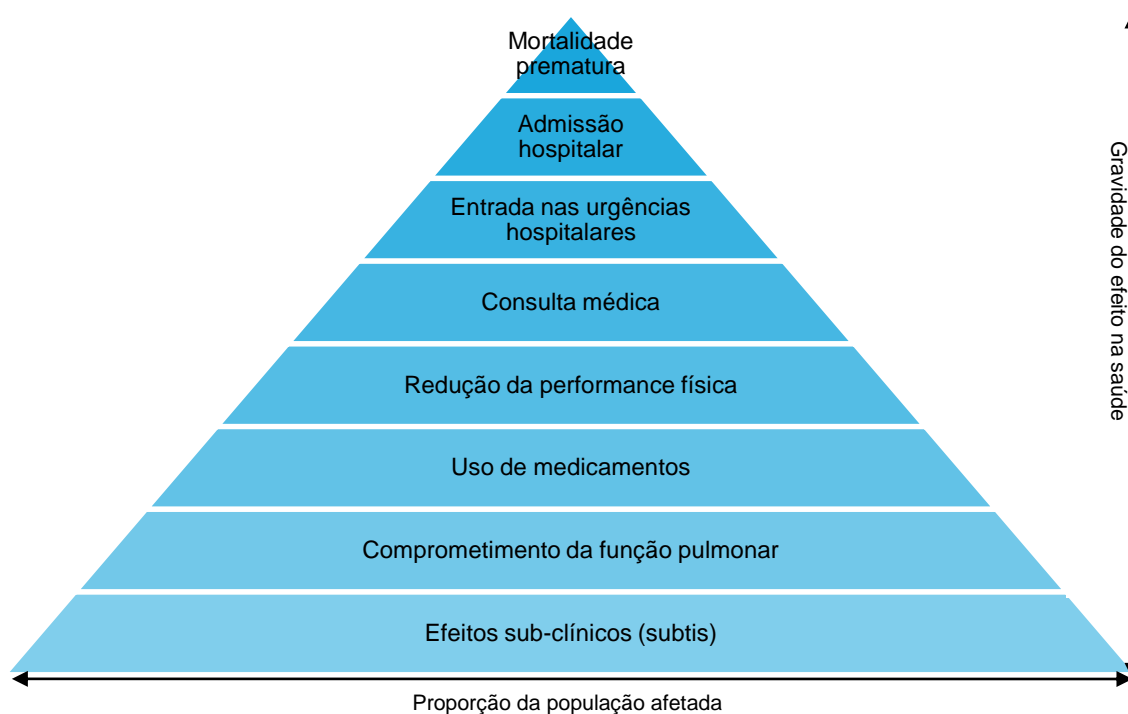


Figura 2.2 – Pirâmide dos efeitos da poluição do ar na saúde humana (adaptado de WHO, 2006)

Os sistemas respiratório, cardiovascular, nervoso, urinário e digestivo são os grandes lesados pela poluição do ar. A exposição a elevadas concentrações de poluentes afeta as vias respiratórias, o que pode acontecer mesmo em baixas concentrações, aquando de exposições de longo prazo. O sistema cardiovascular é principalmente afetado pelo CO, devido à sua ligação com a hemoglobina e consequente redução da capacidade de transporte de oxigénio dos pulmões para os tecidos (Kampa e Castanas, 2007). A presença de metais pesados no ar ambiente reflete-se não só no sistema nervoso como também no sistema urinário (rins). Os poluentes são também prejudiciais para as grávidas. A exposição a poluentes atmosféricos durante a gravidez pode reduzir o tempo de gestação e conduzir a nascimentos prematuros ou abortos espontâneos. O aumento do risco de desenvolver alergias e malformações congénitas são também problemas que podem advir da exposição da progenitora a poluentes atmosféricos (Kampa e Castanas, 2007; EEA, 2013c).

A Figura 2.3 demonstra, de forma resumida, os efeitos que os principais poluentes atmosféricos provocam na saúde humana.

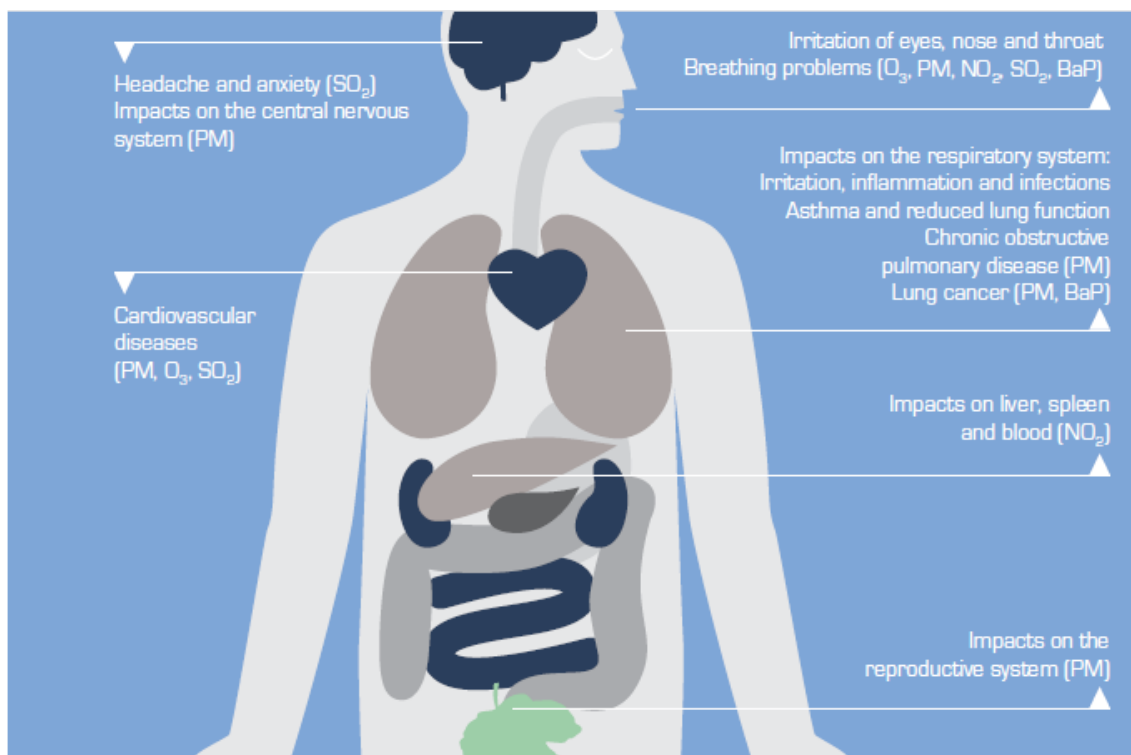


Figura 2.3 – Efeitos dos poluentes na saúde humana (EEA, 2013b)

É conveniente referir que os estudos epidemiológicos que utilizam dados recolhidos nas estações fixas de monitorização da qualidade do ar podem apresentar algumas limitações devido ao facto de a localização das estações eventualmente usadas nem sempre serem representativas dos níveis e concentrações de poluentes nas áreas em estudo, como por exemplo zonas com tráfego intenso.

2.5. Partículas em suspensão

As partículas em suspensão na atmosfera, ou matéria particulada (PM, do inglês *particulate matter*), constituem um poluente que resulta de uma mistura complexa entre partículas de aerossol suspensas na atmosfera com diferentes tamanhos, origem e composição química (Grantz *et al.*, 2003). Esta mistura heterogénea envolve compostos primários e secundários, podendo o material ser sólido e/ou líquido e incluir ácidos (nitratos e sulfatos), químicos orgânicos e metais (EPA, 2013). As partículas variam em número, tamanho, forma, solubilidade, composição química e origem (Pope III e Dockery, 2006). As condições meteorológicas, a área geográfica e a época do ano são três fatores que influenciam a composição das PM (Bell *et al.*, 2004).

A classificação das PM é feita tendo em conta o seu tamanho e está relacionada com o potencial que as mesmas têm em causar problemas na saúde (EPA, 2013). Como nem todas as partículas apresentam formas geométricas esféricas, a sua dimensão é expressa em *microns* (μm) do diâmetro aerodinâmico médio, pois o raio e o diâmetro não têm significado (Ferreira, 2007). As partículas são habitualmente classificadas no ar-ambiente como PM_{2,5} e

PM₁₀. As primeiras são conhecidas como partículas finas (com um diâmetro aerodinâmico médio inferior a 2,5 µm) e as segundas são as partículas grosseiras (de diâmetro aerodinâmico médio inferior a 10 µm), englobando as PM_{2,5}. As PM₁₀ são tão pequenas que podem penetrar e acumular-se no sistema respiratório humano e, por isso, são também conhecidas por partículas inaláveis. O seu tamanho é responsável por determinar em que zona do corpo se depositam, podendo mesmo as mais pequenas chegar à corrente sanguínea, sendo assim relevante efetuar a sua medição no ar-ambiente (APA, 2014c). Grande parte do material particulado encontra-se na fração fina (entre 0,1 e 2,5 µm) mas é em tamanhos muito pequenos (menores que 0,1 µm) que existe o maior número de partículas. A Figura 2.4 mostra os processos de formação de partículas na atmosfera, consoante o seu tamanho.

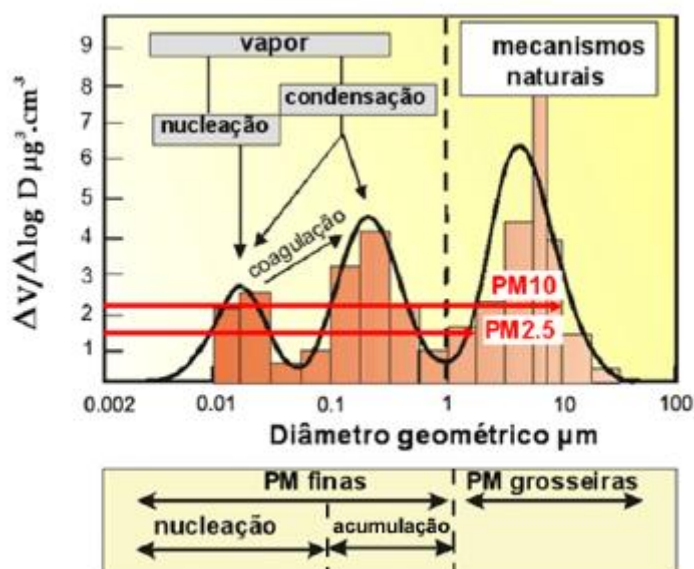


Figura 2.4 – Distribuição das partículas atmosféricas por tamanhos e processos de formação (Tente, 2005)

Algumas partículas têm tamanho e cor suficiente para serem vistas a olho nu (podem formar fumo e reduzir a visibilidade), outras são tão pequenas que apenas podem ser vistas ao microscópio. O seu tamanho depende da tipologia da fonte de emissão e dos processos químicos que lhes dão origem. A Figura 2.5 serve para demonstrar a ordem de grandeza das partículas em suspensão, pois compara o tamanho das PM₁₀ e das PM_{2,5} com um fio de cabelo humano.

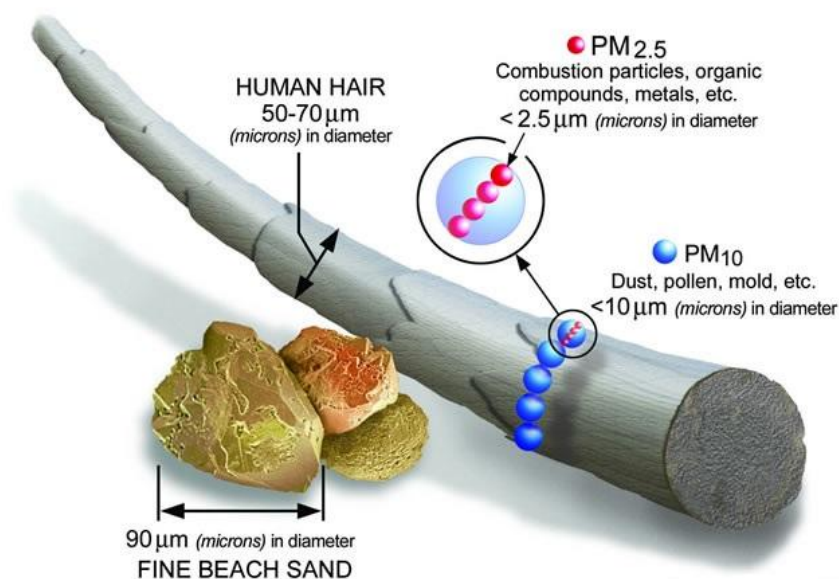


Figura 2.5 – Tamanho das partículas inaláveis (EPA, 2014a)

As partículas são consideradas simultaneamente um poluente primário e secundário. Se for emitido diretamente da fonte para a atmosfera considera-se ser um poluente de origem primária e as dimensões são geralmente superiores às das partículas de origem secundária (Bell *et al.*, 2004). Por este motivo, Blanchard *et al.*, 1999, afirmam que as partículas primárias se encontram, geralmente, ao nível da escala local e que as partículas secundárias, uma vez que têm menores dimensões, atingem áreas mais abrangentes (escala regional). Por isso, as PM₁₀ são encontradas mais perto do local de emissão do que as PM_{2,5} (Grantz *et al.*, 2003).

O tamanho das partículas determina o tempo que estas residem na atmosfera. As PM₁₀ podem ser removidas da atmosfera em poucas horas através da precipitação ou da sedimentação mas as PM_{2,5} podem permanecer mais tempo (dias ou semanas) e assim ser transportadas a longas distâncias (Brás, 2012). As partículas de origem primária podem ser de origem natural ou antropogénica, tal como acontece com os percursos das partículas secundárias. Das naturais fazem parte o *spray* marinho (pode contribuir com 80% dos níveis de PM nas zonas costeiras), o carbono negro (*black carbon*), os incêndios, os sulfatos e nitratos, as partículas originadas pela ressuspensão do solo e partículas resultantes da atividade vulcânica, pólenes, esporos de fungos, fragmentos de plantas e de insetos, microrganismos, entre outros (Grantz *et al.*, 2003; EEA, 2013c). A matéria particulada de origem antropogénica (mais PM_{2,5} que PM₁₀) chega à atmosfera através da emissão gerada por atividades industriais com elevadas temperaturas, por atividades de construção, pela agricultura, pelo aquecimento doméstico, por veículos a gasóleo, pelo desgaste dos pneus e dos travões e através da ressuspensão provocada pelo tráfego (Perez *et al.*, 2006; Kampa e Castanas, 2007). As PM originadas pela ressuspensão e pelo desgaste dos pneus e travões são, normalmente, de tamanhos superiores às das emissões de escape (Comissão Europeia, 2004). Um estudo realizado por Jaeger-Voirol e Pelt, 2000, na região de Ile de France concluiu que a ressuspensão de PM₁₀ proveniente dos

pavimentos e das estradas contribui em maior número para os elevados níveis deste poluente, naquela zona, do que a emissão resultante dos tubos de escape dos veículos. A ressuspensão acontece pelo facto de os veículos circularem numa superfície pavimentada, o que faz com que esta se vá decompondo e perdendo material, material esse que fica solto sob a estrada (Jaecker-Voirol e Pelt, 2000). Pode também dar-se ressuspensão de partículas depositadas na superfície da estrada a partir de fontes externas (Comissão Europeia, 2004). Existe ainda ressuspensão na agricultura, quando um solo é pobre em coberto vegetal (Norma, 2008).

A Tabela 2.1 agrupa a origem das partículas segundo o seu tamanho.

Tabela 2.1 – Fontes de partículas finas e partículas grosseiras (adaptado de Tente, 2005; Brás, 2012)

Partículas finas (PM _{2,5})		Partículas grosseiras (PM ₁₀)	
Fontes naturais	Fontes antropogénicas	Fontes naturais	Fontes antropogénicas
Oxidação de gases sulfurosos			
Oxidação de óxidos de azoto (provenientes da transpiração do solo e de relâmpagos)	Atividades industriais com altas temperaturas (ex: fundições)	Ressuspensão de solos áridos	Ressuspensão provocada pelo tráfego
Produtos da transformação de compostos orgânicos de espécies biogénicas	Emissões do tráfego rodoviário	Partículas vindas de regiões áridas a longas distâncias	Atividades industriais (cimento, cerâmica, construção, entre outras)
		Vulcões	Combustão (petróleo e carvão)
		Spray marinho	
		Fontes biológicas	

A Figura 2.6 representa a emissão de PM_{2,5} por setor de atividade, em Portugal. Os dados são referentes ao ano 2011 e são retirados da “Air pollution fact sheet 2013 – Portugal” (EEA, 2013e).

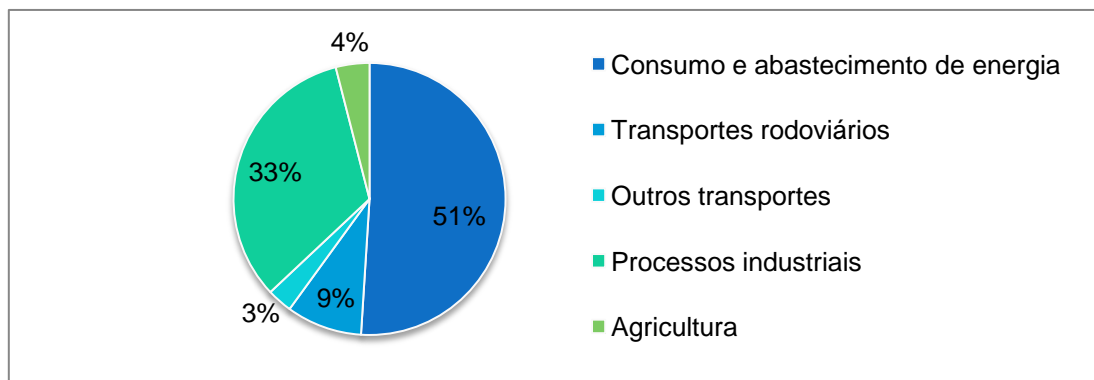


Figura 2.6 – Emissões nacionais de PM_{2,5} por setor, referentes ao ano de 2011 (adaptado de EEA, 2013e)

Uma vez na atmosfera, as partículas podem sofrer alterações na sua composição física e química devido processos químicos. As partículas secundárias formam-se devido à ocorrência de reações químicas com os gases precursores, nomeadamente por processos de nucleação, de condensação, de coagulação ou, simplesmente, através da evaporação (Grantz *et al.*, 2003). Os NO_x, o SO₂, o NH₃ e certos COV são os gases precursores das partículas secundárias, emitidos para atmosfera por via de fontes naturais ou antropogénicas.

A constituição química das PM varia consoante a sua capacidade em absorver e transferir uma variedade de poluentes. Amostras de PM recolhidas em áreas urbanas de vários locais do globo demonstram a abundância dos mesmos componentes, embora em diferentes quantidades (Harrison e Yin, 2000). Conhecer a composição química das partículas é fundamental para se conseguir identificar as fontes emissoras. Grande parte das PM encontradas em áreas urbanas e rurais é composta por uma combinação de vários compostos químicos: material geológico, amoníaco, sulfato, nitrato, cloreto de sódio, carbono orgânico, carbono elementar e água (Harrison e Yin, 2000; Tente, 2005; Kampa e Castanas, 2007).

Esta diversa constituição complica os estudos epidemiológicos, pois torna-se difícil analisar os efeitos que cada componente existente nas PM provoca na saúde humana. Os efeitos causados no ambiente e nos ecossistemas também dependem da composição química das partículas. Por exemplo, se o carbono negro (resultado da combustão incompleta de combustíveis) for um dos componentes das partículas, vai-se dar um efeito de aquecimento na atmosfera pois este elemento absorve a energia solar e a radiação infravermelha. Pelo contrário, se na sua composição estiverem presentes compostos de enxofre ou de azoto, vai haver um efeito de arrefecimento, uma vez que estes refletem a energia solar (EEA, 2013b).

São várias as implicações para a saúde humana decorrentes da exposição a PM₁₀ e a PM_{2,5}, seja durante um curto ou longo período de tempo. Enquanto as partículas grosseiras são retidas através das vilosidades e mucosas nasais, na parte superior do sistema respiratório, as finas podem atingir os alvéolos pulmonares e afetar a atividade respiratória (Kampa e Castanas, 2007). A Tabela 2.2 resume algumas das implicações causadas pela exposição a este poluente.

Tabela 2.2 – Alguns efeitos das partículas na saúde humana, consoante o tipo de exposição (adaptado de WHO, 2004)

Efeitos de exposição de curta duração	Efeitos de exposição de longa duração
Inflamação nos pulmões	Redução da capacidade respiratória
Reações inflamatórias das vias respiratórias	Redução da função pulmonar
Problemas cardiovasculares	Obstruções pulmonares crónicas
Aumento da mortalidade	Redução da esperança média de vida
	Cancro do pulmão

Os efeitos na saúde são causados maioritariamente pelas partículas finas, que podem transportar uma grande variedade de substâncias para dentro do organismo e causar sérios problemas de saúde, especialmente nas crianças, nos idosos e nos indivíduos com problemas de coração ou de pulmões. Tal não significa que uma pessoa saudável esteja livre de risco, sendo que pode, por exemplo, sofrer de sintomas temporários devido à exposição a elevadas concentrações de PM (EPA, 2014b). A diminuição da esperança média de vida é uma realidade, uma vez que a exposição a elevados níveis de PM pode conduzir à morte prematura (EEA, 2013b).

2.6. Enquadramento legislativo

À escala europeia, a massa de poluentes emitidos para o ar tem vindo a reduzir desde a década de 70, altura em que a UE introduziu políticas e medidas relacionadas com a qualidade do ar. Foram definidos limites de emissão juridicamente vinculativos e não vinculativos em toda a Europa para certos poluentes dispersados na atmosfera. Dos diplomas legislativos que estabelecem valores-limite para as emissões em toda a Europa destaca-se a Diretiva 2008/50/CE, de 21 de maio de 2008, relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa, um aperfeiçoamento da Diretiva-Quadro de 1996 (1996/62/CE), relativa à avaliação e à gestão da qualidade do ar ambiente.

A UE estabelece metas e limites mas fica a cargo dos países determinarem como vão atingir essas metas. A fim de assegurar que os níveis de emissões ficam abaixo do valor máximo permitido, cada país define valores-limite anuais de emissão para poluentes específicos. Atualmente em vigor em Portugal, o Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, transpõe para o direito interno as Diretivas 2008/50/CE e 2004/107/CE (quarta Diretiva “filha” – Diretiva mais específica na sequência da Diretiva-Quadro). A Diretiva 2008/50/CE vem revogar e substituir a Diretiva 1996/62/CE, de 27 de setembro, e as três diretivas filhas. Conhecida como Diretiva-Quadro da qualidade do ar, a Diretiva 1996/62/CE institui os princípios de base de uma estratégia comum destinada a definir e estabelecer objetivos de qualidade do ar ambiente a fim de evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos para a saúde humana e para o ambiente, bem como avaliar a qualidade do ar ambiente nos estados-membros, informar o público, designadamente através de limiares de alerta, e melhorar a qualidade do ar quando esta não é satisfatória. Esta Diretiva-Quadro decorre do 5º Programa de Ação em Matéria de Ambiente de 1992 que recomendou o estabelecimento de objetivos a longo prazo em matéria de qualidade do ar (União Europeia, 2014). Da mesma resultaram quatro Diretivas-filhas (disposições legais):

- 1) Diretiva 1999/30/CE do conselho, de 22 de abril de 1999, relativa a valores limite para o dióxido de enxofre, dióxido de azoto e óxidos de azoto, partículas em suspensão e chumbo no ar ambiente;

- 2) Diretiva 2000/69/CE do parlamento europeu e do conselho, de 16 de novembro de 2000, relativa a valores limite para o benzeno e o monóxido de carbono no ar ambiente;
- 3) Diretiva 2002/3/CE do parlamento europeu e do conselho, de 12 de fevereiro de 2002, relativa ao ozono no ar ambiente;
- 4) Diretiva 2004/107/CE do parlamento europeu e do conselho, de 15 de dezembro de 2004, relativa ao arsénio, ao cádmio, ao mercúrio, ao níquel e aos hidrocarbonetos aromáticos policíclicos no ar ambiente.

Assim, com a agregação das três primeiras Diretivas-filhas, a 21 de maio de 2008 é então publicada a diretiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa, e que estabelece objetivos para as $PM_{2,5}$, incluindo um valor limite e objetivos relacionados com a exposição. A mesma, em conjunto com a quarta diretiva-filha, é transposta pelo DL n.º 102/2010, de 23 de setembro, que estabelece os objetivos de qualidade do ar tendo em conta as normas, as orientações e os programas da OMS, destinados a preservar a qualidade do ar ambiente quando é boa e melhorá-la nos outros casos (APA, 2014d).

A Figura 2.7 apresenta um resumo da evolução da legislação referente à qualidade do ar, comunitária e nacional:

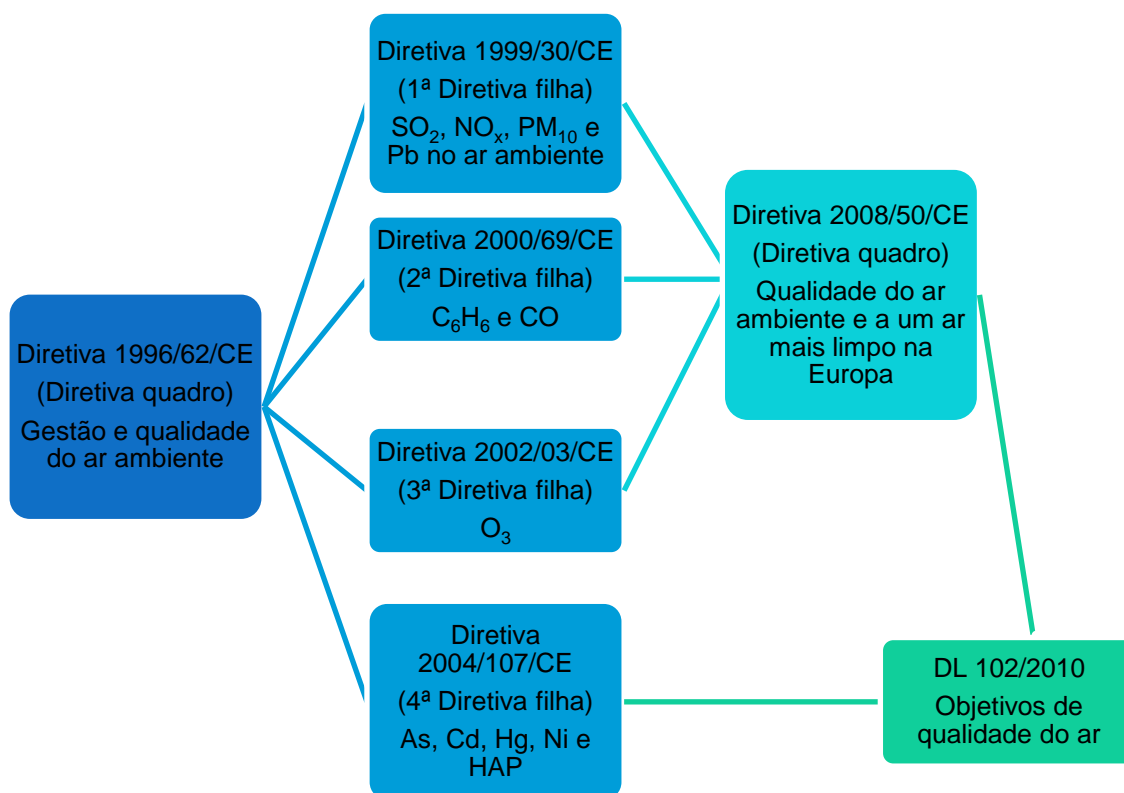


Figura 2.7 – Esquema da evolução da legislação europeia e nacional (adaptado de Almeida, 2010)

No DL n.º 102/2010, de 23 de setembro, que transpõe o conjunto anteriormente referido de legislação europeia, são definidos os valores limite para a proteção da saúde humana (em 24 horas e anuais), valores alvo e limiares superiores e inferiores de avaliação para todos os poluentes listados no anexo I do referido DL. As alíneas hh), gg), o) e p) do artigo 2.º definem os valores mencionados. Resumidamente, o valor limite deve ser atingido no prazo indicado e é aquele que não deve ser ultrapassado (fora as excedências permitidas), com risco de causar danos na saúde e no ambiente (é definido com bases científicas); o valor alvo tem o mesmo objetivo que o valor limite, mas deve ser atingido ao longo de um período de tempo, com o intuito de não ultrapassar o valor limite; o limiar superior de avaliação indica o nível abaixo do qual a qualidade do ambiente pode ser avaliada através de medições fixas e de técnicas de modelação e ou de medições indicativas; o limiar inferior de avaliação estabelece um nível abaixo do qual a qualidade do ambiente pode ser avaliada apenas através de técnicas de modelação ou de estimativa objetiva.

Não existe um valor abaixo do qual se possa afirmar com certeza que a população não corre riscos de sofrer complicações causadas pela exposição a partículas em suspensão. A saúde é afectada mesmo com baixos níveis de PM e de O₃ (WHO, 2004). Para as PM₁₀ existem limites para a exposição de curta duração (valor limite diário) e para a exposição prolongada (valor limite anual) enquanto que para as PM_{2,5} apenas existe um valor limite anual. Na Tabela 2.3 encontram-se os limites legais para as partículas inaláveis.

Tabela 2.3 – Valores limite para as partículas (PM₁₀ e PM_{2,5})

PM₁₀ (em vigor desde 1 de janeiro de 2005)	Valor limite para a proteção da saúde humana (em 24 horas)	50 µg/m ³ , valor a não exceder mais de 35 dias em cada ano civil	Valores definidos no anexo XII do DL n.º 102/2010
	Valor limite anual para a proteção da saúde humana	40 µg/m ³	
PM_{2,5} (cumprir até 1 de janeiro de 2015)	Valor limite anual	25 µg/m ³	Valores definidos no anexo XV do DL n.º 102/2010

O artigo 2.15 da primeira Diretiva filha faz referência à possibilidade de excedência do valor limite diário de PM₁₀, cujas origens derivem de causas naturais. Ou seja, de acordo com a legislação em vigor, os estados membros da UE podem descontar as contribuições de PM₁₀ provindas de fontes naturais e da ressuspensão, para efeitos de cumprimento dos limites legais.

2.7. Monitorização da qualidade do ar

2.7.1. Tecnologias tradicionais

A monitorização da qualidade do ar permite determinar a concentração dos poluentes na atmosfera. Recorrendo a esta informação torna-se possível estudar e caracterizar influência das diferentes fontes de poluição e, assim, detetar problemas de concentrações elevadas num determinado local, podendo avaliar-se a eficácia de eventuais medidas de redução aplicadas.

Hoje em dia, a monitorização em contínuo é feita recorrendo a estações de monitorização da qualidade do ar (EQA – Figura 2.8) que, em Portugal, são geridas pelas Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR), como estipulado no DL n.º 102/2010, de 23 de setembro. O território nacional encontra-se dividido em aglomerações e zonas que constituem as unidades básicas de gestão da qualidade do ar, competindo a cada CCDR elaborar, promover e acompanhar a execução de planos de qualidade do ar. Estes organismos devem estabelecer medidas destinadas a atingir os valores limite ou valores alvo. As EQA do país compõem uma rede de monitorização nacional, à semelhança do que se passa no resto da Europa, e medem os poluentes regulamentados a nível nacional e comunitário. As estações podem ser de tipo urbano, suburbano, rural e rural de fundo, consoante as características da zona onde está localizada e podem também ser classificadas consoante a fonte de emissão dominante na zona: estações de tráfego, de fundo ou industriais (CCDR-LVT, 2012).

Os valores recolhidos nas estações devem ser disponibilizados ao público, o que acontece quase em tempo real. Em Portugal esse processo é feito através da base de dados nacional, disponível no site <http://qualar.apambiente.pt/> e a nível europeu os dados estão disponíveis para consulta na base de dados da EEA (*AirBase*), que compila valores de mais de 7 500 EQA europeias. Este número está em constante crescimento e contribui para o conhecimento da qualidade do ar que se respira na Europa (EEA, 2013b). No interior das EQA existem analisadores automáticos e específicos para cada poluente cujos princípios de funcionamento se baseiam, entre outros, nas características óticas ou nas propriedades físicas dos poluentes, tais como fluorescência de ultravioleta, quimiluminescência, absorção de radiação infravermelha, entre outros (Brás, 2012).

No caso concreto das partículas em suspensão o método de referência na Europa é o método gravimétrico, que se baseia na recolha de PM através de um filtro pesado antes e após a amostragem (Tente, 2005). Hoje em dia, e porque este método apresenta algumas desvantagens – ver Tabela 2.4, os métodos de medição automática mais comuns nas EQA baseiam-se na absorção de radiação beta (β) ou na alteração de frequência de ressonância da balança de inércia (TEOM® – *Tapered Element Oscillating Microbalance*) (DCEA-FCT/UNL, 2010). O primeiro método baseia-se na absorção de radiação β pelas partículas atmosféricas por meio de um analisador automático (APA e LRA, 2008). As partículas são segregadas e depositam-se sobre um filtro; a radiação β , que é emitida por uma fonte de carbono-14,

atravessa o filtro e atinge um detetor (um contador Geiger). A passagem da radiação pelo filtro permite determinar a concentração de partículas depositadas no mesmo (a concentração de partículas no filtro é proporcional à atenuação de radiação β emitida pela fonte) (Lindau, 2011). O método que utiliza a balança de inércia para a medição de partículas consiste na passagem de ar através de um filtro que é parte integrante de um sistema vibratório com uma determinada ressonância. As partículas retidas no filtro aumentam a massa vibratória e diminuem a frequência de ressonância, o que faz com que as oscilações mecânicas sejam proporcionais à massa de partículas depositadas no filtro (Umweltbundesamt, 2004).



Figura 2.8 – Interior de uma EQA (CMO, 2014)

A detecção remota é muitas vezes utilizada na monitorização da qualidade do ar. É vantajosa no estudo da contribuição das emissões de fontes naturais e na compreensão de fenómenos globais. Embora a resolução temporal não seja a ideal (não há dados em tempo real), a resolução espacial é uma mais-valia neste método, podendo mapear-se a poluição desde a escala global à escala urbana (Borowiak e Dentener, 2006). No caso concreto das PM, a utilização da detecção remota revela-se útil, entre outros, no campo do transporte de partículas a longa distância, como as oriundas do Sahara. A NASA reconhece a importância deste método para a monitorização da qualidade do ar e tem um projeto denominado ARSET (*Applied Remote Sensing Training*) cujo objetivo passa por dar formação na aplicação da detecção remota à qualidade do ar (NASA, 2014).

A exposição humana pode ser estimada diretamente pela monitorização ou indiretamente pela modelação (Sá, 2008). Na determinação da exposição pessoal a níveis de PM_{10} normalmente utilizam-se modelos de exposição. A exposição humana acontece aquando o contacto de um indivíduo com uma determinada concentração de um poluente (para que ocorra é necessário que, num determinado local e período de tempo, a concentração do poluente seja não nula e, simultaneamente, que um indivíduo se encontre no mesmo local e no mesmo período) (Hertel *et al.*, 2001). A modelação da exposição pessoal é uma ferramenta fundamental na avaliação da eficácia de medidas aplicadas e na previsão de exposições futuras (Ferreira, 2007). Segundo Moschandreas e Saksena, 2002, existem três tipos de modelos de medição da exposição pessoal:

- Modelos indiretos – utilizam inventários de emissões exteriores e interiores para identificar as principais fontes que contribuem para a exposição pessoal e utilizam modelos de transporte e de qualidade do ar interior;
- Modelos diretos – utilizam elementos concretos como concentrações determinadas em certos locais e o tempo despendido pelos indivíduos nesses mesmos locais;
- Modelos estocásticos – utilizam medições de exposição pessoal ou recorrem a estimativas para formular distribuições da exposição da população e investigar a variabilidade e incertezas associadas a essas distribuições.

Em 2005 efetuaram-se campanhas de avaliação da exposição pessoal a PM_{10} , no âmbito de um projeto intitulado “PM Lx”, realizado com a colaboração de três entidades diferentes: DCEA-FCT/UNL, CCDR-LVT e Centro Regional de Saúde Pública de Lisboa e Vale do Tejo. Utilizou-se um amostrador pessoal da marca Rupprecht & Patashnick®, modelo *ChemPass* 3400 (apresentado na Figura 2.9), que utiliza a gravimetria como método de medição e tem a capacidade de medir paralelamente $PM_{2,5}$ e PM_{10} . A amostragem de cada uma das frações granulométricas foi realizada com um caudal de 1,8 l/min (DCEA-FCT/UNL *et al.*, 2005).

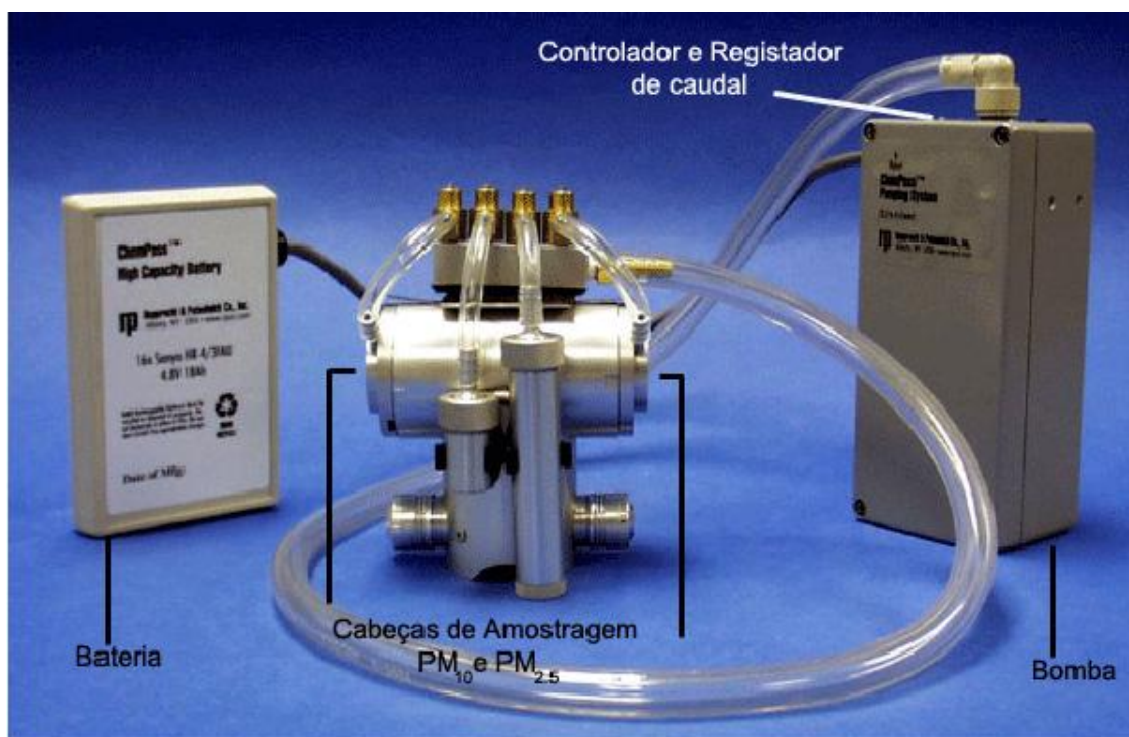


Figura 2.9 – Amostrador pessoal utilizado para a avaliação da exposição pessoal no projeto PM Lx (DCEA-FCT/UNL *et al.*, 2005)

O aerossol é recolhido por um filtro que depois é pesado, permitindo assim a determinação gravimétrica da massa de partículas. Os resultados publicados no relatório final (DCEA-FCT/UNL *et al.*, 2005) demonstram a necessidade de utilizar outro tipo de amostrador pessoal, com maior caudal de ar.

2.7.2. Novas tecnologias

A evolução tecnológica tem permitido o recurso à melhoria ou ao desenvolvimento de novos métodos para a monitorização da qualidade do ar. O uso da *internet* e de *smartphones* e o envolvimento da população são componentes importantes nesta área e deram origem a um conceito – o *participatory sensing*. *Participatory sensing* consiste numa abordagem para recolha e interpretação de dados em que os indivíduos, atuando sozinhos ou em grupos, dão uso aos seus dispositivos móveis pessoais, geralmente *smartphones*, e serviços *web* para explorar inúmeros aspetos, que podem ir desde a saúde à cultura (Burke, et al., 2006). Neste caso, fala-se em *participatory sensing* quando o mesmo é aplicado na monitorização ambiental, mais concretamente na monitorização da qualidade do ar e na partilha de informação sobre o tema. O objetivo passa por integrar e cruzar todos os dados disponíveis de modo a obter informação precisa, detalhada e em tempo real sobre a qualidade do ar e a exposição pessoal numa certa zona. A exposição à poluição atmosférica é medida pela concentração média de poluentes no ar que se respira (Field et al., 2005).

Serão distinguidos dois tipos de dispositivos móveis e/ou aplicações:

- Dispositivos/aplicações que utilizam dados de uma rede já existente (neste caso dados de concentração de partículas) e que, portanto, se destinam a informar o público;
- Dispositivos portáteis/aplicações que permitem a recolha e comunicação de dados.

Dispositivos/aplicações que utilizam dados de uma rede já existente

Hoje em dia é possível saber-se a qualidade do ar em qualquer cidade europeia através de um *smartphone* com recurso a aplicações (*apps*) instaladas no mesmo, como é o caso da “EuropeAir”, que utiliza a base de dados da EEA (EEA, 2014b).

Dispositivos portáteis/aplicações que permitem a recolha e comunicação de dados por parte dos utilizadores

Investigadores da *Viterbi School of Engineering*, da *University of Southern California*, desenvolveram uma *app* chamada “*Visibility*” que permite aos utilizadores de *smartphones* contribuírem para a monitorização da qualidade do ar. O método consiste em tirar uma fotografia ao céu e, depois de etiquetada com local, orientação e data, é feito o *upload* para a “*visibility*”. Feito o *upload* da fotografia, a aplicação calibra a imagem e compara a intensidade da mesma com um modelo de luminância do céu. Esta *app* mostra-se útil principalmente no que diz respeito ao poluente partículas pois estas tornam o azul do céu mais cinzento (University of Southern California, 2010).

Da *Jacobs Schools of Engineering*, Universidade da Califórnia, surge, em 2012, o “*CitiSense*” (Bales et al., 2012). Trata-se de um sensor portátil que permite monitorizar a qualidade do ar nas zonas onde um indivíduo se encontre, com recurso ao seu *smartphone* (Figura 2.10). Os

participantes levam os aparelhos portáteis para todo o lado onde forem e fazem o seu dia-a-dia com o mesmo ligado (podem prender-se na mochila, como demonstrado na Figura 2.11). Estes sensores recolhem valores de ozono, dióxido de azoto e monóxido de carbono (Figura 2.12), valores esses que são transmitidos para o *smartphone* e para computadores em tempo real, o que faz do CitiSense um dispositivo bastante útil para quem possui problemas respiratórios e precisa de evitar exposições a poluentes, pois a informação é pública, não é restrita aos que utilizam o dispositivo. Demonstra-se ser também um instrumento de carácter informativo e educativo, na medida em que permite aos seus utilizadores um melhor conhecimento dos níveis de poluentes na sua cidade e, assim, adquirirem consciência de que a poluição do ar não é igual em todo o lado, que pode variar bastante no percurso casa-trabalho, por exemplo, e que varia ao longo do dia. Um artigo apresentado na “*Wireless health 2012*” revela que os utilizadores do CitiSense deram a conhecer a existência de “vales urbanos” (*urban valleys*), zonas onde os edifícios retêm a poluição (Nikzad *et al.*, 2012).



Figura 2.10 – Visualização no *smartphone* dos dados recolhidos pelo CitiSense (Inhabitat.com, 2012)



Figura 2.11 – Dispositivo CitiSense (Inhabitat.com, 2012)

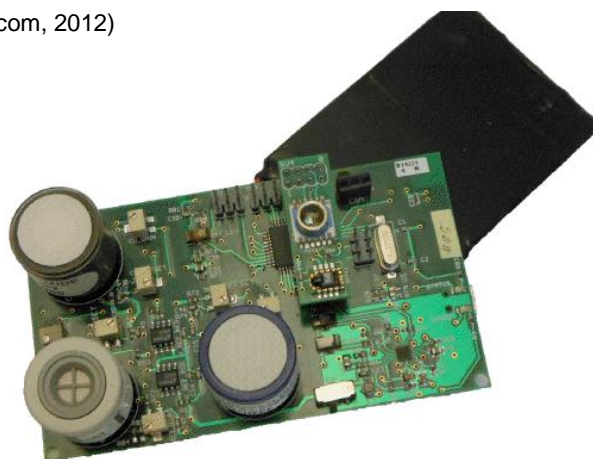


Figura 2.12 – Interior do CitiSense com destaque para os três sensores eletroquímicos que medem monóxido de carbono, ozono e dióxido de azoto (Nikzad *et al.*, 2012).

Com o sucesso deste aparelho portátil, o próximo passo será criar uma rede *wireless* em que centenas de sensores estejam distribuídos por indivíduos que enviam os seus dados para uma central, onde os mesmos serão analisados e tornados públicos. O objetivo é tornar cada vez mais robusta a rede de monitorização de uma zona, para que os valores se aproximem cada

vez mais da realidade e, assim, ser possível a identificação *hotspots* de poluentes, conhecer as zonas mais problemáticas e arranjar soluções.

Outro aparelho portátil eficiente na monitorização da qualidade do ar e que funciona através de uma ligação USB (*Universal Serial Bus*) a um *smartphone* é o “GasMobile” (Hasenfratz *et al.*, 2012). Com uma arquitetura de *hardware* ainda não muito prática (Figura 2.13), o GasMobile está equipado com um sensor de ozono que pode ser controlado através de uma aplicação no telefone e que tem capacidade de efetuar medições a cada dois segundos. Está em vista a expansão para outros gases, sendo que será necessário mudar o sensor e modificar algumas componentes de *software*. O essencial é que o sensor esteja adaptado ao telemóvel e comunique os dados através da ligação USB. No ecrã de medições pode ser escolhida a opção de deixar o sensor em modo automático (Figura 2.14).



Figura 2.13 – Hardware do GasMobile
(Hasenfratz *et al.*, 2012)

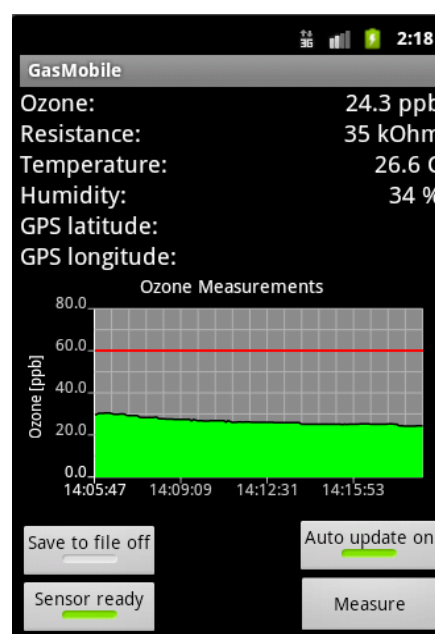


Figura 2.14 – Medições realizadas com o GasMobile (Hasenfratz *et al.*, 2012)

Os automóveis particulares e os percursos que fazem são uma boa fonte de informação da qualidade do ar. A pensar nisso, Devarakonda *et al.*, 2013, apresentam um dispositivo de sensoriamento pessoal que utiliza uma plataforma de sensores sem fio – o NODE (Variable, 2013). É composto por um sensor móvel e possui ligação via *bluetooth*, para permitir a conectividade a um *smartphone* e para fazer a transmissão dos valores para um servidor (Figura 2.15). Este dispositivo, até à data, apenas mede monóxido de carbono. Os níveis de poluição registados são transmitidos para o computador através da ligação USB ou para o *smartphone* com recurso a *apps* próprias. Devarakonda *et al.*, 2013, concluem que a aplicação Google Fusion Tables, da Google, é a mais apropriada para o armazenamento e visualização dos dados recolhidos pelo NODE.



Figura 2.15 – NODE (Devarakonda *et al.*, 2013)

Para além dos dispositivos de sensoriamento pessoal, existem também estudos e protótipos de sensores para aplicação em transportes públicos, como é o caso dos autocarros (têm rotas fixas e, no geral, circulam em vias com tráfego elevado). Devarakonda *et al.*, 2013, propõem também, para além do NODE, o *Mobile Sensing Box* (MSB). O MSB resulta numa caixa que incorpora vários aparelhos: o NODE, um microcontrolador, dois sensores, sistema GPS e um modem celular (Figura 2.16). Cada sensor mede um poluente específico, sendo que, no protótipo apresentado, o dispositivo possui dois sensores, um para o CO e outro para as PM. Os valores resultantes das medições deverão ser convertidos para mapa, conjugando os dados de concentração com as coordenadas, de modo a permitir o estudo de zonas com maior concentração de poluentes.

O MSB pode ser colocado no exterior de um veículo (Figura 2.17) e a sua bateria é alimentada pela bateria do veículo.

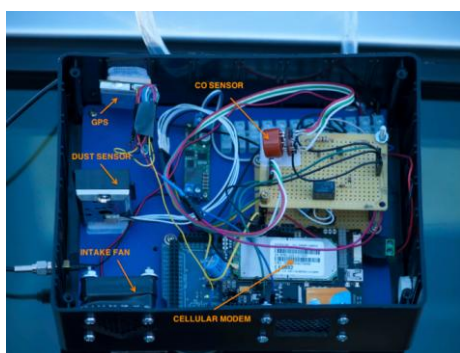


Figura 2.16 – Interior do MSB (Devarakonda *et al.*, 2013)



Figura 2.17 – Dispositivo MSB colocado no exterior de um veículo (Devarakonda *et al.*, 2013)

Air quality egg é o nome de um dispositivo de monitorização da qualidade do ar que deu origem a um projeto, em 2012, com dimensões internacionais (Air quality egg, 2014). O grande objetivo dos criadores deste projeto passa por reunir pessoas numa comunidade e dar-lhes a

oportunidade de participarem ativamente na monitorização do ambiente. Qualquer cidadão pode adquirir o “ovo” e, assim, participar na monitorização da qualidade do ar a partir do exterior de sua casa e fazer parte da comunidade internacional. O dispositivo consiste num sistema de sensores capazes de medir a concentração de NO₂ e de CO, a humidade e a temperatura de forma regular. Um pequeno aparelho de deteção é colocado na parede exterior da habitação, junto a uma janela ou a uma porta. Este sistema comunica os dados recolhidos para a estação base via *wireless*, estação essa que se encontra dentro de casa, junto ao computador, e tem a forma de um ovo (Figura 2.18). Como o ovo serve de interface, possui um botão e uma luz LED (AirQualityEgg, 2014). Os dados serão transmitidos em tempo real para a *internet*, mais propriamente para o Xively (<https://xively.com/>), que permite o acesso gratuito aos dados, elabora gráficos e tem a opção de enviar SMS de alerta (vídeo explicativo disponível através do *link*: <https://www.kickstarter.com/projects/edborden/air-quality-egg>).

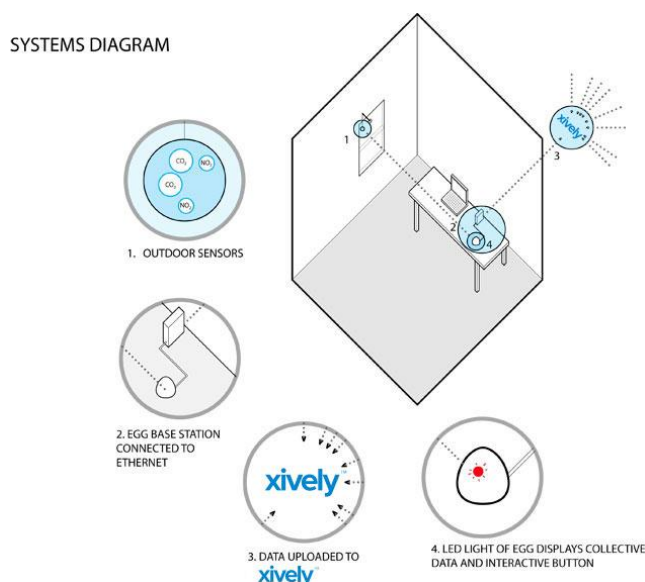


Figura 2.18 – Sistema de funcionamento do *Air quality egg* (Air quality egg, 2014)

Na Índia, a cidade de Chennai, caracterizada por elevada industrialização e pelo grande número de população com veículo próprio e consequente elevada concentração de poluentes, foi alvo de um estudo de monitorização da qualidade do ar em tempo real. Raju *et al.*, 2012, utilizaram sensores, sistemas GPS e GIS (*Geographical Information Systems*) e a internet neste sistema móvel de monitorização da qualidade do ar. O objetivo é que os resultados obtidos por este método sejam úteis tanto para o governo, como para organizações não-governamentais e para o público em geral, com o intuito de alertar para o problema e ajudar na tomada de decisões, a fim de proteger a saúde pública. Decidiram utilizar os sistemas GPS e GIS pelo facto de a poluição atmosférica ser um problema dinâmico e espacialmente distribuído e estes serem os dois métodos (bases de dados de informação geográfica e modelos de simulação dinâmica) que suportam tais dimensões (Raju *et al.*, 2012). O método consiste em, em primeiro lugar, digitalizar o mapa da cidade com o GIS e o GPS e fazer o

upload para a *internet*. De seguida, conectam-se os sensores dos gases sobre os quais se pretende recolher dados a um módulo ARM (processador utilizado para ligar diferentes tipos de *outputs*), que terá também o GPS ligado a si. O GPS e os sensores, ligados ao processador ARM, podem ser montados num automóvel e ligados à bateria do carro como fonte de alimentação. Após recolhidos os dados durante o período pretendido, o ARM fará a ligação ao computador para que os dados sejam inseridos num servidor e posteriormente carregados para a *internet*, num *site* específico (esquema na Figura 2.19). Como se tratam de áreas extensas, a combinação entre medições no terreno, através dos sensores, com a comunicação através de redes *wireless* e com a utilização de GIS torna-se uma mais valia nestes casos.

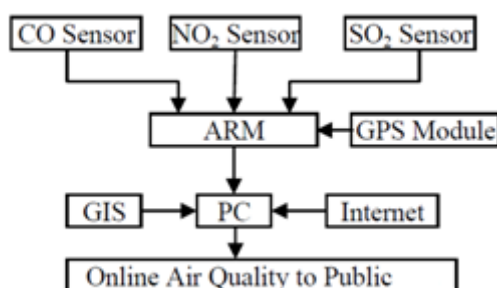


Figura 2.19 – Diagrama de funcionamento do sistema móvel de monitorização da qualidade do ar (Raju *et al.*, 2012)

Da EPA (*United States Environmental Protection Agency*) surgem inovações tecnológicas e metodológicas no que diz respeito à monitorização da qualidade do ar. Um dos projetos realizados por esta agência consistiu na utilização de um veículo elétrico equipado com tecnologia apropriada para a monitorização da qualidade do ar. O objetivo passa por quantificar e criar um perfil de emissões ao longo das principais vias e estudar os potenciais impactos causados na saúde de quem as utiliza no dia-a-dia. Este dispositivo demonstra-se proveitoso no fornecimento de informação em tempo real, que pode ajudar a detetar picos de emissões e, conseqüentemente, compreender a causa de elevadas concentrações no ar.



Figura 2.20 – Dispositivo de monitorização aplicado num veículo (EPA, 2012b)

Os resultados dos estudos e pesquisas publicados no “EPA Progress Report” de 2012 (EPA, 2012b) sugerem algumas soluções viáveis nesta área. Foi criada uma nova abordagem para monitorizar a qualidade do ar nas refinarias de petróleo que facilita a identificação de fugas num curto espaço de tempo, permitindo assim resolver de imediato pequenos problemas. O referido sistema consiste na criação de um perímetro à volta das instalações da refinaria, composto por uma série de sensores com o objetivo de captarem as emissões resultantes de todos os processos que lá ocorrem. Este método vai contra a tradicional instalação de equipamentos de monitorização da qualidade do ar mais dispendiosos e que são direcionados para processos individuais dentro das instalações de uma refinaria. Estima-se que este sistema reduza os gastos da indústria em cerca de 500 milhões de dólares ao fim de 10 anos (EPA, 2012b).

No âmbito nacional, no ano de 2002, a cidade de Lisboa participou num projeto inovador a nível europeu (JRC e outros, 2003). O projeto PEOPLE (*population exposure to air pollutants in Europe*) consistiu na avaliação da exposição humana à poluição, por parte da participação voluntária dos cidadãos. Teve como principais objetivos avaliar o impacto das fontes de emissão, exteriores e interiores, nos níveis de exposição pessoal a poluentes do ar, em seis cidades europeias: Lisboa, Bruxelas, Bucareste, Liubliana, Madrid e Dublin.

O primeiro poluente analisado foi o benzeno. Conhecido pelas suas características carcinogénicas, o benzeno é um excelente indicador de emissões do setor dos transportes e de emissões derivadas do tabaco e é também um poluente relativamente fácil de medir. No caso das medições em Lisboa, foram selecionados cerca de 150 voluntários com características diferentes (25 de cada): cidadãos não fumadores e não expostos a fontes de poluição automóvel (grupo de controlo), cidadãos fumadores, cidadãos que se deslocam usando viatura própria, cidadãos que utilizam transporte público e cidadãos que recorrem à bicicleta ou se deslocam a pé. Cada cidadão transportou um sensor (amostrador passivo) durante 12h, a fim de medir a sua exposição ao benzeno. Os resultados obtidos para a exposição pessoal apontaram o fumo do tabaco e o tempo/modo de deslocação como os principais fatores que afetam a exposição ao benzeno.

Como resultado do sucesso do projeto e de uma boa aceitação por parte do público, foi criado o projeto “PEOPLE – Cidadania”, com o propósito de sensibilizar e alertar os cidadãos para o impacto do seu comportamento pessoal na qualidade do ar. Iniciativa do CITIDEP (centro de investigação de tecnologias de informação para uma democracia participativa) e apoiado pelo grupo PEOPLE, o PEOPLE – Cidadania uniu estudantes dos ensinos básico e secundário, professores e cientistas durante 9 meses. Partilhando informação através da internet e recorrendo a videoconferências contribuiu-se para um melhor conhecimento dos efeitos do benzeno no ambiente e na saúde (JRC e outros, 2003).

Ao PEOPLE e ao PEOPLE – Cidadania seguiu-se o EuroLifeNet. Este novo projeto, baseado, entre outros, na experiência dos anteriores, introduziu o poluente partículas. Com o objetivo de

implementar uma metodologia inovadora de recolha de dados para a avaliação da exposição pessoal em larga escala, o projeto baseou-se na medição dos níveis de exposição a $PM_{2,5}$ recorrendo ao medidor portátil *AM510 SidePak Personal Aerosol Monitor*[®]. Envolveu igualmente escolas, alunos e professores, de três zonas de Portugal e uma de Itália, cientistas e técnicos; as medições foram realizadas pelos alunos, que transportavam o amostrador e o GPS *Garmin Edge 205* durante 24 horas. Os resultados foram examinados através da comparação com os dados da rede fixa de monitorização da qualidade do ar e concluiu-se que 50% da exposição do aluno é função da qualidade do ar exterior e a outra metade é condicionada pelo estilo de vida e escolhas pessoais (De Saeger e Abreu, 2007).

Contrastando com os modelos tradicionais de sensibilização dos cidadãos, que demonstram um efeito limitado, o EuroLifeNet revela-se um exemplo de como a população pode participar ativamente na monitorização da qualidade do ar e, com isso, consciencializar-se que os seus atos têm impactes na qualidade do ar que, posteriormente, se refletem na sua saúde. Este método transmite informações em tempo real, de pessoas reais e com hábitos comuns a todos os cidadãos.

Mais recentemente, em 2009, foi realizado um outro projeto na cidade de Lisboa: RISKAR LX. Tendo como principal objetivo disponibilizar informação específica sobre a relação entre a qualidade do ar e a saúde humana em Lisboa, o RISKAR LX comportou uma componente de avaliação da exposição pessoal a PM_{10} (Borrego *et al.*, 2013). As campanhas de medição de exposição pessoal, à semelhança do que foi feito no projeto PEOPLE, recorreram ao amostrador pessoal TSI *SidePak* AM-510 e a localizadores e registadores de posição GPS *Garmin Edge 205*. O *SidePak* AM-510 utiliza a nefelometria como método de medição, o que significa que o seu funcionamento se baseia na incidência de um foco de luz sob o ar que entra. A intensidade da luz dispersa é função da concentração da massa das partículas (TSI, 2014). Este foi o aparelho portátil utilizado na avaliação da qualidade do ar em Cascais, nesta tese, como explicado no capítulo 4.

A Tabela 2.4 resume as vantagens e desvantagens dos dois tipos de métodos em análise.

Tabela 2.4 – Métodos tracionais *versus* métodos inovadores

	Vantagens	Desvantagens
Metodologias tradicionais	<p>Monitorização em contínuo no caso das EQA e diária no caso da deteção remota;</p> <p>Acesso a séries históricas de dados;</p>	<p>No caso das EQA, os valores estão condicionados à localização da estação e, quando extrapolados, podem não ser representativos da região;</p> <p>Há poucas EQA e, por isso, estão dispersas geograficamente;</p> <p>O método gravimétrico utilizado na recolha das PM não permite determinar um perfil diário de concentrações (apenas permite uma média diária). Não é útil em períodos de tempo curtos, a não ser em ambientes muito poluídos (há mais massa). Neste método existe um hiato temporal desde a amostragem até à determinação da concentração de PM;</p>
Metodologias recentes	<p>Os utilizadores de dispositivos de exposição pessoal são mais abertos à mudança, uma vez que vêm realmente os dados. Ao terem conhecimento dos valores, muitos alteram os seus hábitos;</p> <p>Acesso a dados em tempo real.</p>	<p>Os equipamentos são dispendiosos e necessitam de manutenção;</p> <p>A maior parte dos equipamentos não regista as condições meteorológicas;</p>

Embora o município abranja um território pequeno, pode distinguir-se no seu extremo oeste o microclima da faixa costeira atlântica, mais seco e ventoso, e a existência de um clima mais frio e nublado na encosta sul da serra de Sintra (CMC, 2010). Estando perto do oceano, a variação sazonal das temperaturas é amenizada pela sua presença, o que faz com que as temperaturas mínimas médias sejam sempre mais elevadas em Cascais e as temperaturas máximas médias sejam significativamente mais reduzidas no verão e mais elevadas no inverno, quando comparadas com o resto do país, o que faz com que estas duas estações do ano sejam menos rigorosas neste concelho.

O facto de se localizar a 30 km da capital faz com que o número de movimentos pendulares casa-trabalho e vice-versa seja elevado, não só porque muitos dos residentes trabalham em Lisboa mas também porque grande parte da população do concelho habita nos arredores e dirige-se para o centro da vila para apanhar o comboio, o que faz com que o tráfego seja intenso não apenas durante as horas de ponta nos dias úteis.

A exposição ao ozono troposférico, às partículas em suspensão e aos agentes aerobiológicos (pólenes e esporos de fungos) tem impactes adversos na saúde pública da região (Casimiro *et al.*, 2010). A qualidade do ar é uma das áreas a que a Câmara Municipal dedica especial atenção. Desde 1 de setembro de 2002, Cascais possui uma estação fixa de medição da qualidade (estação urbana de tráfego), integrada na rede de monitorização da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo (CCDR-LVT), entidade esta que, em parceria com a FCT/UNL, tem colaborado com a autarquia local no desenvolvimento de campanhas de monitorização, com recurso a amostradores passivos, em diversos locais do concelho (CMC, 2014b). Porém, localização geográfica da estação Cascais-Mercado suscita algumas dúvidas quanto aos resultados obtidos, nomeadamente no que diz respeito às partículas inaláveis (PM_{10} e $PM_{2,5}$). O problema deve-se à existência de sinais luminosos (semáforos) nas imediações da estação que condicionam os valores de concentração obtidos. O nível de partículas nesta estação de monitorização pode não ser verdadeiramente representativo do ambiente de tráfego que se pretende avaliar.

Quanto a instrumentos de gestão territorial, parte do território de Cascais insere-se no Parque Natural de Sintra-Cascais – PNSC (33 km² da área do concelho). As restrições de utilidade pública existentes em Cascais dizem respeito a zonas de RAN (Reserva agrícola nacional) e REN (Reserva ecológica nacional). Na RAN incluem-se todas as áreas que, em virtude das suas características morfológicas, climatéricas e sociais, apresentam maiores potencialidades para a produção de bens agrícolas. A REN integra o conjunto de áreas que são objeto de proteção especial, tanto pelo seu valor e sensibilidade ecológica como pela sua exposição e susceptibilidade perante riscos naturais.

3.2. Estudos realizados no concelho relacionados com qualidade do ar

O PECAC revelou, em 2010, que as doenças crónicas são a maior causa de mortalidade da região, nomeadamente doenças relacionadas com os aparelhos circulatório e respiratório e relacionadas com tumores malignos, ocorrendo em maior número nos meses de inverno (Casimiro *et al.*, 2010).

A deterioração da qualidade do ar é um dos principais fatores para o consequente baixo nível de saúde dos munícipes. São diversos os impactes na saúde relacionados com a poluição do ar, principalmente no que diz respeito ao poluente partículas. Um estudo levado a cabo em 2010, no âmbito da elaboração do plano estratégico de Cascais face às alterações climáticas, estima que, em 2007, as concentrações de PM_{10} no concelho foram responsáveis por 24 mortes (IC_{95} 20-28 casos), das quais 13 estão diretamente relacionadas com problemas cardiovasculares (IC_{95} 8-28 casos) (Casimiro *et al.*, 2010). Os resultados obtidos pela equipa de elaboração do plano indicam que a poluição do ar é atualmente um problema de saúde significativo na zona.

Tendo em conta um cenário futuro onde as alterações climáticas conduzem a um clima mais quente e seco, prevê-se, ainda no âmbito do PECAC, que os níveis de poluição do ar serão afetados e, consequentemente, que os níveis de PM_{10} continuarão a aumentar, fruto de maior número de incêndios florestais e menor ocorrência de precipitação. Como tal, são esperados mais casos de problemas respiratórios e cardiovasculares, associados a este aumento de partículas em suspensão (Casimiro *et al.*, 2010).

Estudos realizados pelo Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da FCT/UNL (DCEA-FCT/UNL) em parceria com a CCDDR-LVT, solicitados pela Câmara Municipal de Cascais (CMC), revelaram a existência de algumas zonas com níveis de poluição acima do permitido, as quais foram denominadas de zonas críticas. No último estudo efetuado, cujo relatório foi terminado em janeiro de 2012, é sugerida a realização de campanhas complementares, com recurso a analisadores capazes monitorizar diretamente outros poluentes não medidos pelo método então utilizado (o método de difusão passiva, que não permite medir nem PM_{10} , nem $PM_{2,5}$). Identifica-se também que seria uma mais-valia a obtenção de médias horárias, a fim de se conseguir analisar os perfis diários de concentrações de poluentes em vários locais. Neste estudo, é ainda aconselhado que os locais de amostragem sejam aqueles onde já foi realizada a medição com tubos de difusão, para complemento e validação do trabalho anterior. A amostragem em zonas residenciais é também essencial para se conseguir diagnosticar em detalhe as situações mais problemáticas e obter comparações entre zonas com elevado tráfego rodoviário e zonas residenciais (Mesquita *et al.*, 2012).

4. METODOLOGIA

A escolha dos locais de amostragem teve em conta as recomendações e os resultados dos estudos anteriores realizados no município. Os estudos revelaram quatro zonas críticas: a envolvente da autoestrada A5 e os núcleos populacionais de Cascais, Estoril e Parede. Esta dissertação terá como foco o núcleo populacional de Cascais e analisará ainda os caminhos pedonais entre o centro de Cascais e a Guia (ciclovía do Guincho) e o paredão de Cascais. Esta escolha relaciona-se com o facto de haver muita afluência de pessoas nestes dois percursos, não só por parte da população concelhia, que elege estes locais para atividades de desporto e de lazer, mas também por parte dos turistas que visitam a vila, principalmente nos meses de verão, dado ao elevado número de locais de interesse nestes dois percursos.

O poluente em análise são as PM_{10} , cujas medições foram realizadas com recurso a um analisador de exposição pessoal, o *AM510 SidePak Personal Aerosol Monitor*[®], que, por questões de simplificação, será designado como *sidepak* no decorrer da tese (Figura 4.1).



Figura 4.1 – Amostrador portátil (*sidepak*)

Para efeitos de comparação e estudo da influência do fator clima, foram realizadas duas campanhas, uma no verão e outra no inverno. A primeira decorreu na semana de 15 a 19 de julho de 2013 e a segunda realizou-se de 10 a 15 de março de 2014.

Todas as recolhas feitas num ponto fixo tiveram a duração de meia hora, com registo das concentrações em intervalos de dez segundos, o que perfaz um total de 180 valores de concentração de PM_{10} . Os percursos pedonais realizados utilizando o equipamento portátil de monitorização tiveram uma duração média de 30 minutos.

Importa ainda referir que, em todos os dias de recolhas, foram analisadas a velocidade do vento (m/s) e a temperatura (°C), com recurso ao site WindGURU (http://www.windguru.cz/pt/index.php?sc=574&sty=m_menu), pois as condições meteorológicas condicionam os valores de concentração de PM_{10} . Foram também registadas a distância à faixa de rodagem (m) e a altura de medição (m).

Os mapas de qualidade do ar foram obtidos com recurso a uma aplicação experimental da *Google research* – o *Google Fusion Tables*. O método consiste na introdução das coordenadas recolhidas pelo GPS *Gardmin Edge 205* (latitude e longitude) e na introdução dos valores de concentração de PM_{10} , neste caso, pelo *sidepak*. Posto isto, foi possível mapear os níveis de PM_{10} ao longo dos dois percursos em análise.

A Figura 4.2 localiza os pontos fixos de recolha (Jumbo, varanda do CascaisVilla, e Av. Dom Pedro I). Estes locais foram amostrados em todos os dias na campanha de verão; na campanha de inverno houve apenas medição num dia nestes locais.



Figura 4.2 – Localização dos pontos fixos de recolha (local 1, 2 e 3) (*Google Earth*, 2014)

A escolha do local 1 (Figura 4.3) prende-se com o facto de ser o principal percurso de entrada na vila de Cascais. É uma zona com bastante tráfego durante todo o dia e, principalmente, nas horas de ponta. Seja para ir trabalhar ou para ir para algum transporte público, entre outras razões, a maior parte das pessoas que vive nos arredores de Cascais circula neste troço da marginal diariamente. Existem sinais luminosos antes da chegada à rotunda, o que condiciona os níveis de PM_{10} naquele local.



Figura 4.3 – Local 1 (jumbo)

A medição na varanda no centro comercial CascaisVilla (Figura 4.4)) serve para estudar a influência da altura em relação ao solo no nível de concentrações medido. Estes dois primeiros locais (locais 1 e 2), próximos um do outro, poderão revelar eventuais diferenças devidas à altitude e à distância à faixa de rodagem. A varanda encontra-se a cerca de 12 m do solo.



Figura 4.4 – Local 2 (varanda do CascaisVilla)

Na avenida Dom Pedro I é onde se situa a EQA Cascais-Mercado. Esta zona foi escolhida para a recolha de dados com o objetivo de comparar os níveis de PM_{10} registados na EQA com os dados recolhidos pelo *sidepak*. O local 3 (Figura 4.5) é assim caracterizado pela existência de uma via de tráfego com quatro faixas de rodagem num só sentido e também pela existência de dois semáforos, o primeiro dos quais situado cerca de 10 m antes da EQA e o outro cerca de 15 m depois, no cruzamento entre a Av. Dom Pedro I e a Rua 25 de Abril. Este cruzamento faz a separação do trânsito entre quem vai para o centro de Cascais e quem vai no sentido do Guincho (Ferreira *et al.*, 2009). A recolha foi feita no lado oposto ao da EQA, a cerca de 10 m antes da mesma.



Figura 4.5 – Local 3 (av. Dom Pedro I)

Nas Figuras 4.6 e 4.7 estão representados os dois percursos realizados em ambas as campanhas. O primeiro percurso (Figura 4.6) tem início no jardim Visconde da Luz, em pleno centro de Cascais, e termina após três km de distância, num local situado depois da Boca do Inferno, onde existem equipamentos de manutenção utilizados para a prática de exercício físico ao ar livre (doravante chamado ginásio ao ar livre). É de notar que este percurso passa por zonas com características distintas. Começa num jardim, onde as estradas envolventes possuem tráfego moderado, de seguida há uma zona sem circulação automóvel (Largo Camões) e, desde o largo da CMC até ao fim do percurso, o caminho é percorrido no passeio para peões, sempre a par da faixa de rodagem. O início da ciclovía faz com que a distância à via seja maior, o que permite, passada a Boca do Inferno e já quase a chegar ao destino (ginásio ao ar livre), a existência de uma barreira verde, devido à largura do passeio e das existência de duas faixas na ciclovía. Esta separação entre a estrada e a ciclovía é conseguida por arbustos e plantas não muito altos (1 m, aproximadamente).

Ao longo do caminho o *sidepak* regista valores de 10 em 10 segundos e o GPS vai registando as coordenadas a cada 3,5 segundos.

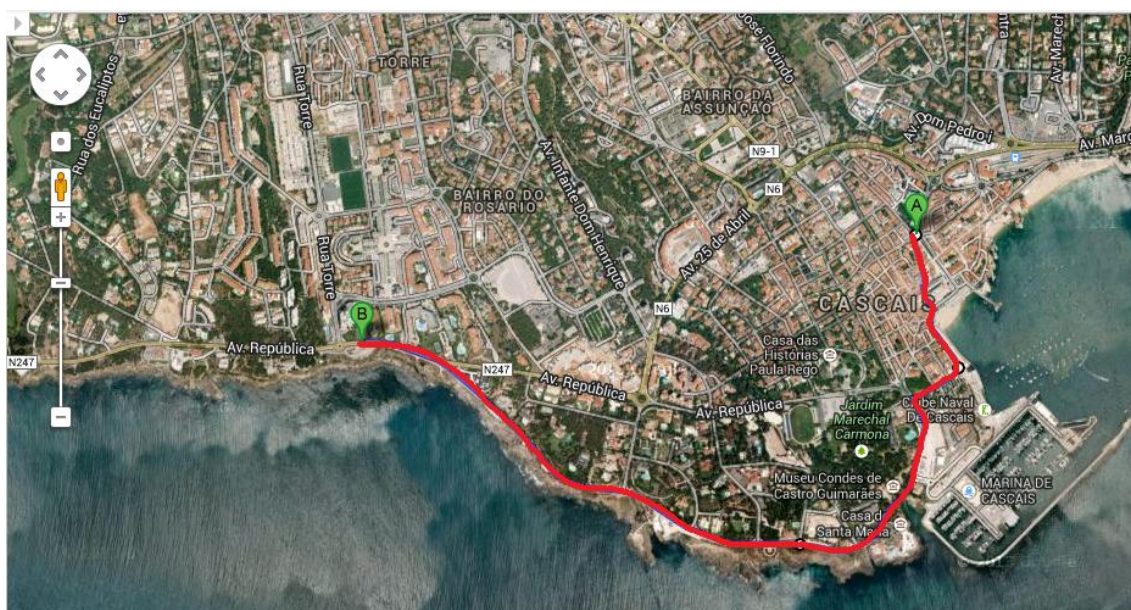


Figura 4.6 – Trajeto do percurso 1 (Google Earth, 2014)

Findo o percurso 1, regressa-se ao centro de Cascais para dar início ao segundo percurso pedonal. O paredão une Cascais a São João do Estoril através de um passeio à beira mar. Uma vez que se trata de um passeio livre de circulação automóvel (excetuando aqueles que lá circulam esporadicamente para fazer entregas nos estabelecimentos) e que, ao longo dos seus 3 km de extensão existe uma barreira bem definida entre a avenida marginal (estrada nacional n.º 6) e o paredão, o objetivo da realização deste percurso foi estudar os níveis de fundo (com eventual preponderância dos sais marinhos) nos níveis PM_{10} no ar ambiente. O *sidepak* e o GPS são ligados na praia que marca o início do trajeto – praia da Conceição – e apenas são desligados quando o paredão chega ao fim, na praia da Azarujinha. Em média, levou-se 30 minutos a percorrer o paredão.

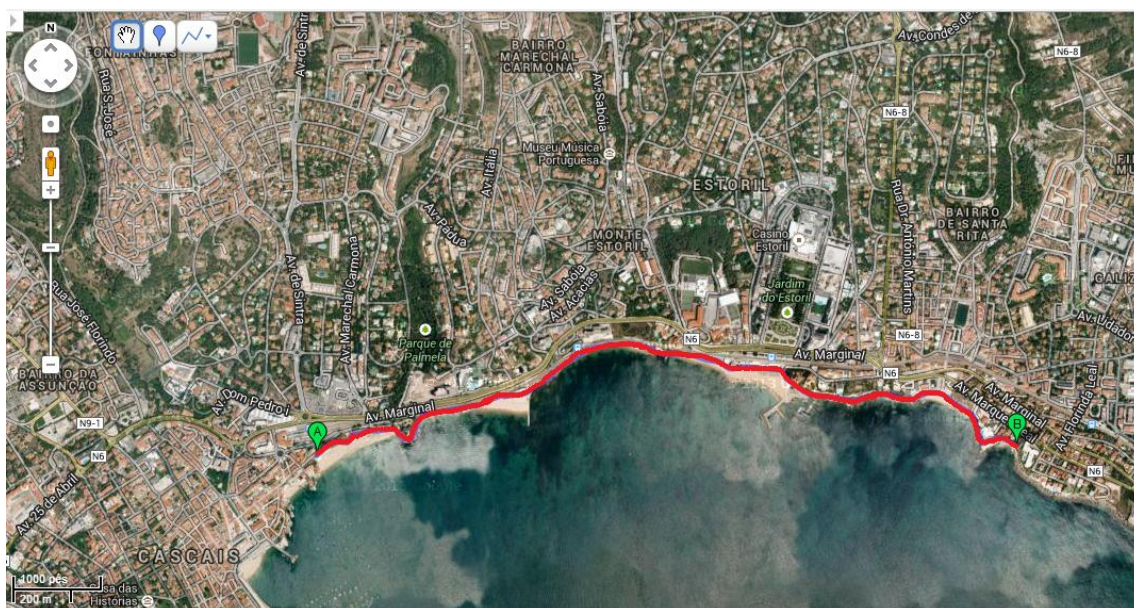


Figura 4.7 – Trajeto do percurso 2 (Google Earth, 2014)

4.1. Campanha de verão

A Figura 4.8 esquematiza o decorrer de um dia de recolhas, que se repetiu durante a semana da campanha de verão (15-19 de julho), à exceção de terça-feira, 16 de julho, dia em que ocorreu um problema na bateria do *sidepak* e que impossibilitou a realização dos dois percursos.

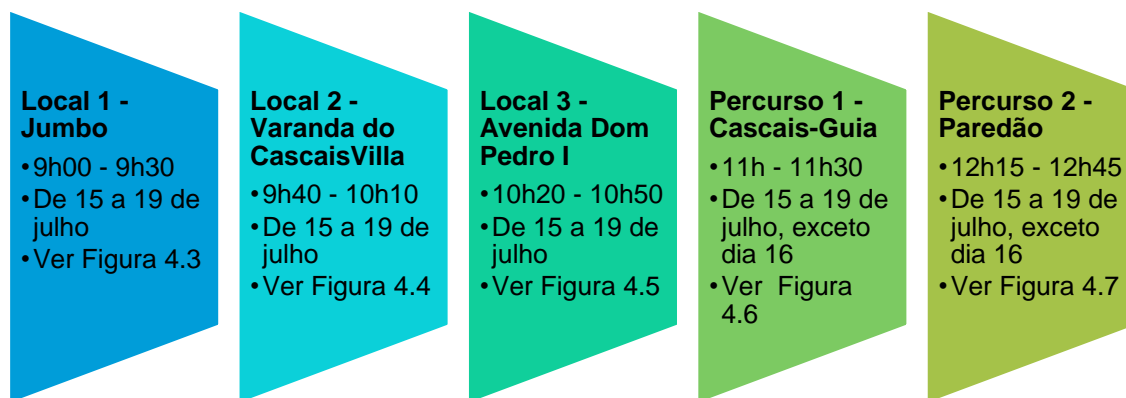


Figura 4.8 – Metodologia utilizada na campanha de verão

Nesta campanha as medições tiveram a duração de meia hora em cada um dos três locais. A primeira medição teve início às 9h de cada dia, no Jumbo de Cascais. Às 9h30 segue-se para a varanda do CascaisVilla, onde se começa a medição às 9h40 e termina 30 minutos depois; segue-se então para a Av. Dom Pedro, onde se está mais meia hora e de onde se sai ainda antes das 11h para, depois, se começar o percurso 1 às 11h em ponto. Percorrido o percurso 1, volta-se para trás com o objetivo de estar às 12h15 no paredão, para dar início ao percurso 2 e à última medição do dia.

4.2. Campanha de inverno

A Figura 4.9 pretende resumir informação sobre a campanha de inverno, que se realizou entre 10 e 14 de março de 2014.



Figura 4.9 – Metodologia utilizada na campanha de inverno

Na campanha de inverno ocorreram ligeiras alterações. Uma vez que na terça feira da campanha de verão (16 de julho de 2013) os percursos não foram realizados devido a problema na bateria do *sidepak*, nesta segunda campanha, que ocorreu na semana de 10 a 14 de março, optou-se por também não realizar os dois percursos na terça-feira (11 de março de 2014). De modo a aproveitar a este dia, realizaram-se medições nos primeiros dois pontos

fixos (local 1 e 2) mas, desta vez, com a duração de 1 hora. Para que as medições junto da EQA fossem representativas da hora de ponta da manhã, estas foram levadas a cabo no dia 17 de março. Realizaram-se duas medições: uma à altura de 40 cm e outra à altura de 80 cm, sendo que a primeira foi das 9h às 10h e a segunda das 10h03 às 11h03. Estas medições a diferentes alturas do solo servem para estudar a concentração de PM_{10} à altura das crianças (grupo sensível) e à altura do tubo de escape dos automóveis. Pretende-se, com isto, perceber a influência da altura nos níveis de PM_{10} .

A metodologia utilizada na realização dos percursos foi idêntica à da campanha de verão.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Análise dos dados da estação de qualidade do ar de Cascais – Cascais-Mercado

A fim de caracterizar a zona e perceber as tendências dos níveis de PM_{10} em Cascais, foram estudados os dados recolhidos pela estação fixa Cascais-Mercado, localizada na Av. Dom Pedro I, referentes aos últimos cinco anos (de 2009 a 2013). A funcionar desde setembro de 2002, é uma EQA de ambiente urbano e com influência de tráfego (Figura 5.1).

O número de anos selecionados foi considerado suficientemente representativo para permitir uma avaliação da evolução recente das concentrações de partículas, ultrapassando, pelo menos em parte, alguma aleatoriedade associada à variabilidade meteorológica. Os dados foram exportados da base de dados *online* sobre qualidade do ar da Agência Portuguesa do Ambiente (QualAR - <http://qualar.apambiente.pt/>), cedidos pela CCDR-LVT. De referir que os dados de 2013 e de 2014 são provisórios e não validados.



Figura 5.1 – EQA Cascais-Mercado

Na Tabela 5.1 encontram-se os dados estatísticos da EQA referentes à eficiência anual, com base horária e diária, tendo em conta as PM_{10} . A Figura 5.2 representa as concentrações médias anuais de PM_{10} para os anos de 2009, 2010, 2011, 2012 e 2013 e o número de dias em que ocorreram excedências ao valor limite diário.

Tabela 5.1 – Eficiência da EQA Cascais-Mercado nos últimos cinco anos

	2009	2010	2011	2012	2013
Eficiência (base horária) (%)	98	99	89	94	58
Eficiência (base diária) (%)	98	99	88	95	59

À exceção de 2011 e de 2013, considera-se que os dados são próprios para análise pois a eficiência da estação ultrapassou os 90%. O caso de 2011 não é problemático, uma vez que a eficiência apresenta uma percentagem elevada, que ronda os 90%. Já no ano de 2013, a estação esteve inativa no período de 29 de janeiro a 10 de abril e durante grande parte do mês de setembro, o que condicionou a série de dados e deu origem a uma fraca eficiência da EQA neste ano. Contudo, e apesar dos dados de 2013 não terem sido validados até à data, os mesmos serão alvo de análise nesta tese.

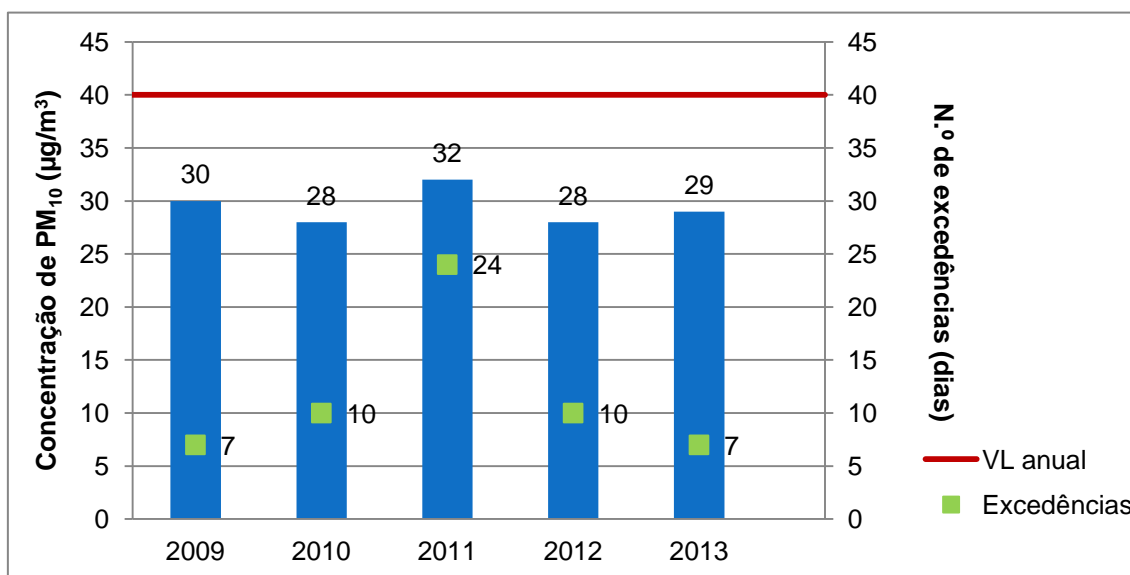


Figura 5.2 – Concentração média anual de partículas inaláveis (PM_{10}) nos últimos cinco anos e respetivo número de excedências anuais ao valor limite diário

A legislação permite um máximo de 35 excedências ao valor limite diário por ano, valor este que nunca foi atingido nos anos em análise. Em nenhum dos últimos cinco anos foi atingido também atingido o valor limite anual (40 $\mu g/m^3$), verificando-se assim o cumprimento da legislação.

2011 foi o ano com a média mais elevada e foi também o ano em que ocorreram mais excedências ao VL diário. No mesmo ano, oito das 24 excedências ocorreram no mês de outubro, sete em abril e três em maio, distribuindo-se as restantes pelo resto do ano.

A Figura 5.3 representa a concentração média de partículas por cada dia da semana, no período dos cinco anos.

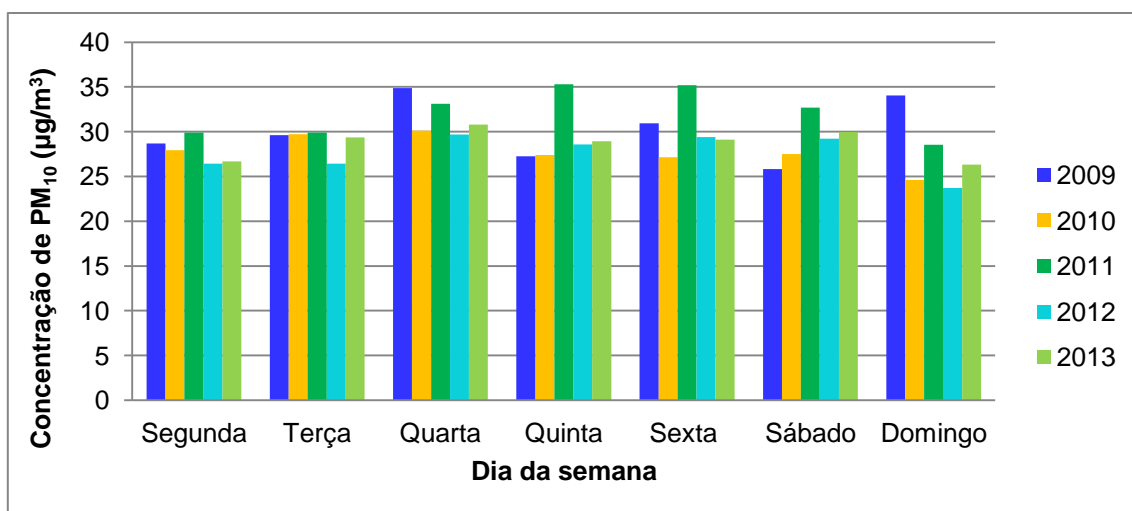


Figura 5.3 – Perfil médio diário da concentração de partículas inaláveis (PM_{10}) com base nos dados dos últimos cinco anos

Estas médias foram analisadas a fim de se compreender a influência do tráfego nos dias úteis e ao fim de semana. Os valores referem-se a uma média das 24h existentes num dia, de todos dos 365 dias do ano, 366 no caso de 2012 (ano bissexto).

A quarta-feira obteve os valores mais elevados da semana, exceto no ano de 2011, ano em que tal se verificou à quinta-feira, o que se explica pelos facto de todas as quartas-feiras se realizar uma feira/mercado de rua, no lado direito da Av. Dom Pedro I (lado oposto ao da EQA). Ao fim de semana, principalmente ao domingo, os níveis tendem a ser menos elevados que durante a semana. Já ao sábado, verifica-se que tem havido um aumento dos níveis, o que significa um aumento da utilização do automóvel neste dia.

A Figura 5.4 demonstra o perfil médio horário dos últimos cinco anos.

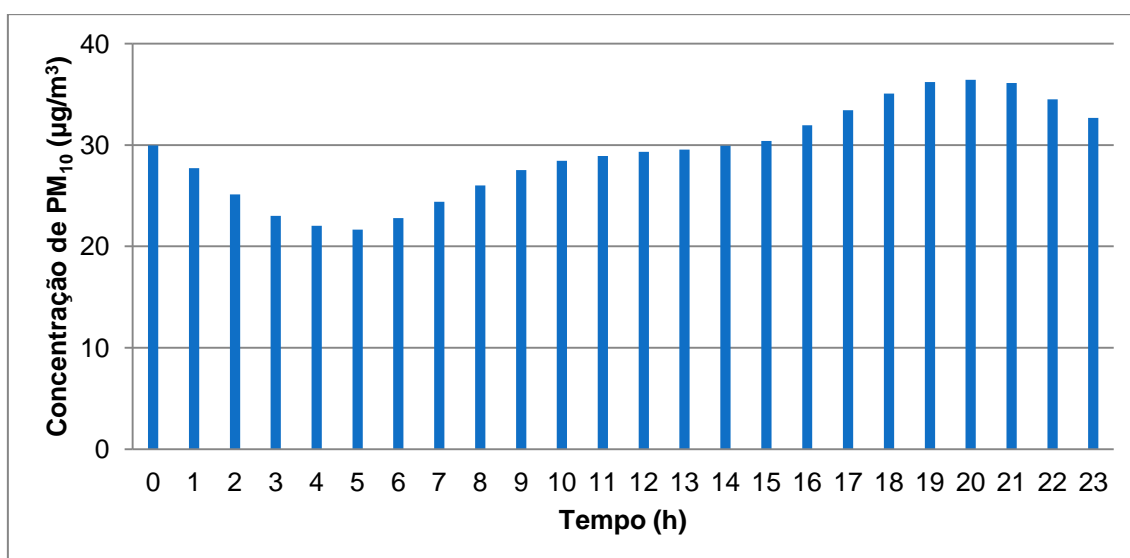


Figura 5.4 – Perfil médio horário da concentração de partículas inaláveis (PM_{10}) com base nos dados dos últimos cinco anos

A tendência é a esperada para uma estação de monitorização da qualidade do ar influenciada por um ambiente de tráfego. Os níveis de PM_{10} começam a aumentar na hora de ponta da manhã, estagnando um pouco à hora da almoço e voltando a aumentar na hora de ponta da tarde, mais concretamente a partir das 16h. O pico ($36 \mu g/m^3$) ocorre entre as 19h e as 22h, altura em que, já de noite, os níveis baixam continuamente até por volta das 6h da manhã. O facto de o pico da tarde ser superior ao da manhã ($29 \mu g/m^3$ das 11h às 13h) pode estar relacionado com o sentido predominante do trânsito ou mesmo com alguma acumulação que a concentração de partículas deverá sofrer ao longo do dia.

Na Tabela 5.2 encontram-se as concentrações médias diárias, também por dia da semana, relativas às semanas em que foram realizadas campanhas.

Tabela 5.2 – Concentração média de partículas inaláveis (PM_{10}) durante os cinco dias de cada campanha (dados da EQA), em $\mu g/m^3$

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Campanha verão	28	34	41	23	39
Campanha inverno	23	30	33	38	36

Através dos dados registados pela EQA de Cascais construiu-se o perfil horário o ocorrido durante as duas campanhas. A Figura 5.5 representa o perfil médio horário durante a campanha de verão (dados da semana de 15 a 19 de julho de 2013) e durante a semana de inverno (10 a 14 de março de 2014).

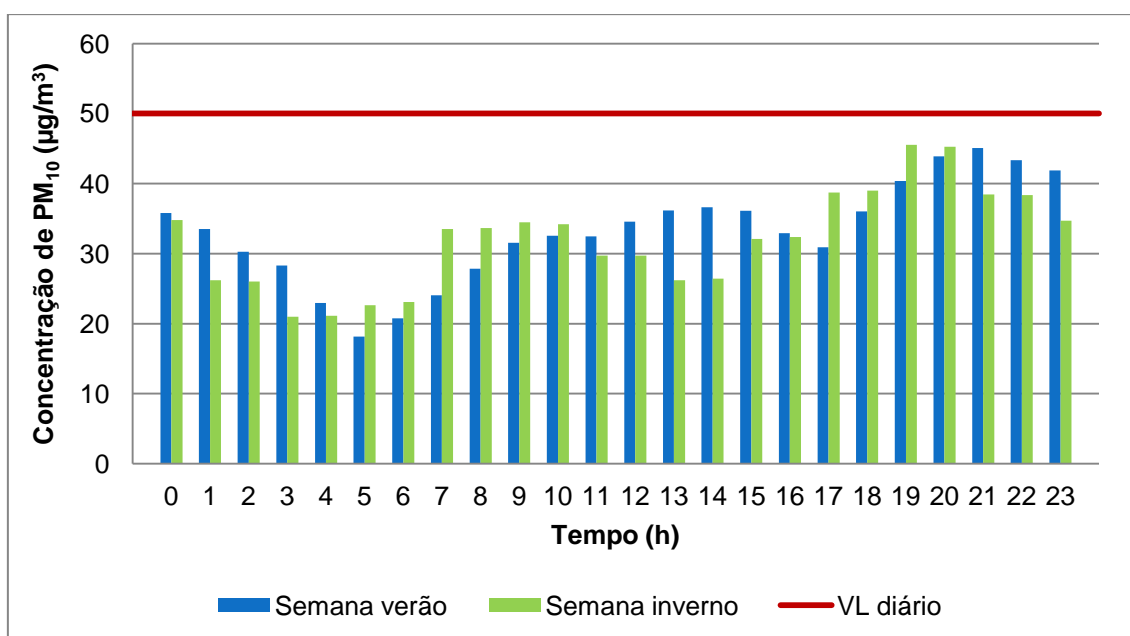


Figura 5.5 – Perfil médio horário das concentrações de partículas inaláveis (PM_{10}) durante as semanas em que ocorreram ambas as campanhas (dados da EQA)

Na semana da campanha de verão é notório um aumento da concentração de PM_{10} a partir do período da manhã (7h) e que apenas começa a reduzir após as 15h. Novamente no período de

hora de ponta da tarde ocorre um aumento dos níveis de partículas, atingindo o máximo valor às 21h. Na semana da campanha de inverno a principal diferença é a antecipação dos valores de pico da hora de ponta da manhã que termina mais cedo, diminuindo a partir das 10h. Tal poderá estar realmente relacionado com o padrão de tráfego associado a deslocamentos para as praias próximas. Durante a madrugada os valores descem consideravelmente (não há tráfego automóvel) até à manhã seguinte.

Uma vez que as medições com recurso ao aparelho de monitorização portátil tiveram início às 9h e terminaram por volta das 13h, considera-se que está a ser estudado um período problemático a nível de concentração de poluentes. De notar que não ocorreram excedências ao VL diário durante os cinco dias da semana. O valor mais elevado registado pela EQA foram $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no dia 17, quarta-feira, entre as 20h e as 22h.

Comparando as duas campanhas (verão e inverno), os valores médios das concentrações de partículas são praticamente idênticos ($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respetivamente).

5.2. Campanha de verão

A campanha de verão teve lugar na semana de 15 a 19 de julho, semana com temperaturas relativamente baixas face ao normal para esta altura do ano. As condições meteorológicas que se achou relevante registar em cada dia de medições foram a velocidade do vento e a temperatura, com recurso ao *site* do WindGURU e podem ser lidas na Tabela 5.3. Os valores apresentados correspondem aos máximos e mínimos registados pelo *site*.

Tabela 5.3 – Valores semanais de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e velocidade do vento (m/s) (WindGURU, 2014)

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
T ($^{\circ}\text{C}$)	19 - 22	21 - 22	20 - 23	19 - 20	19 - 23
v_{vento} (m/s)	2 - 3	1	2 - 3	2	2 - 4

As Figuras 5.6, 5.7 e 5.8 apresentam as médias obtidas através de valores medidos em intervalos de 10 segundos, nos três locais.

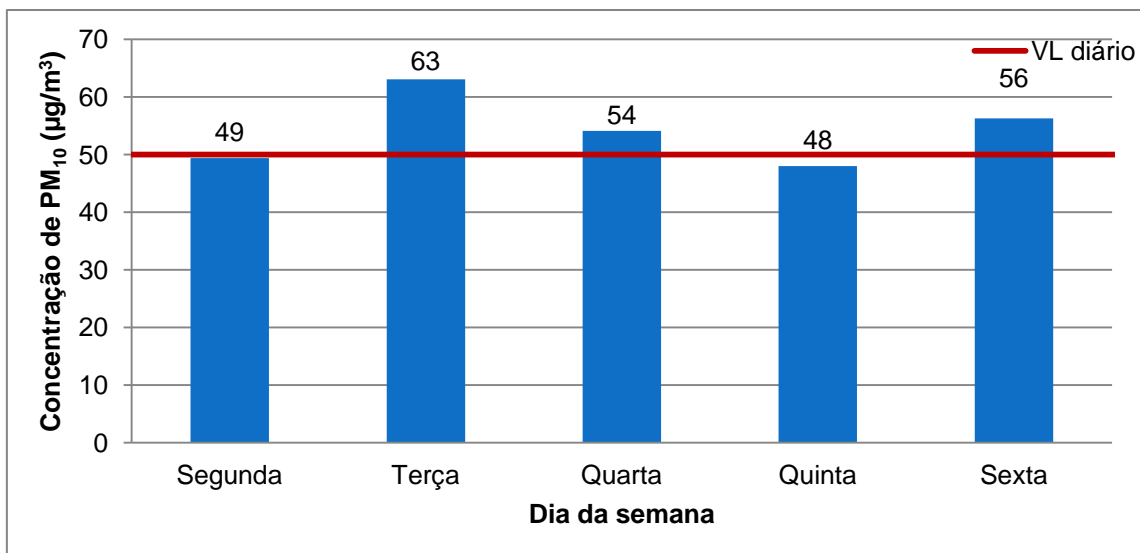


Figura 5.6 – Concentração média de partículas inaláveis (PM₁₀) no Jumbo

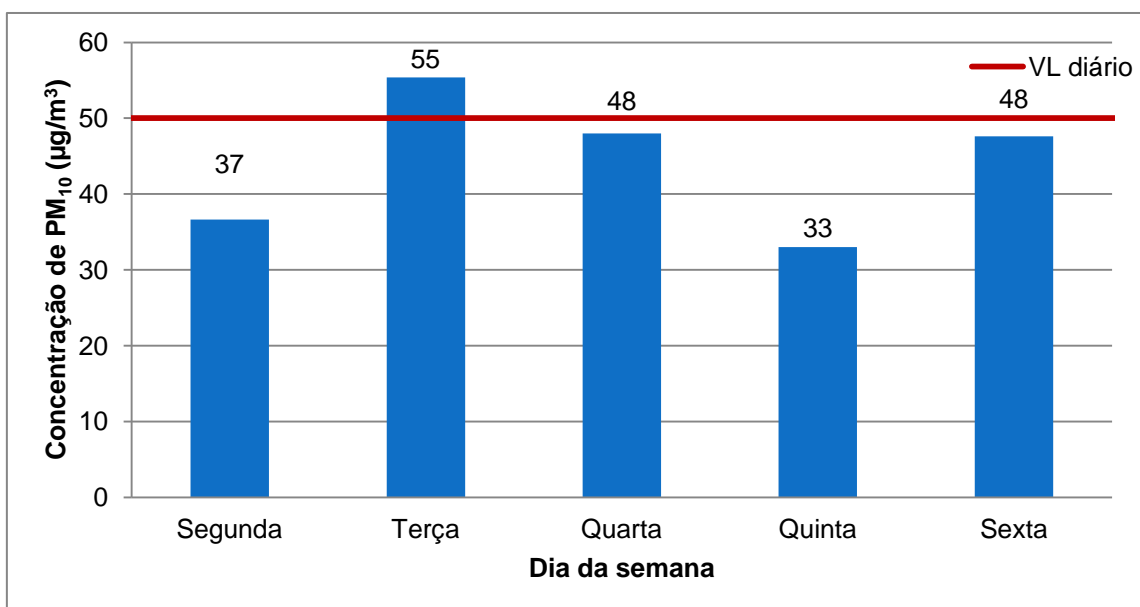


Figura 5.7 – Concentração média de partículas inaláveis (PM₁₀) na varanda do Cascais Villa

As medições realizadas no Jumbo são as que apresentam valores mais elevados. Este local situa-se a cerca de 1 m de uma via de tráfego intenso, principalmente nas horas de ponta. Com a existência de um semáforo ao fundo, antes da rotunda, dá-se a acumulação de carros durante curtos períodos de tempo, enquanto o sinal está vermelho, altura em que se nota um decréscimo no nível de PM₁₀. Quando está verde e os veículos andam livremente, a velocidade moderada, os valores sobem devido à maior emissão de partículas associada ao arranque e à ressuspensão causada pela circulação. Os valores estão quase todos acima do VL diário mas, uma vez que não são valores diários, pois dizem respeito a médias de apenas meia hora, não se pode afirmar que o limite não esteja a ser cumprido, mas é uma indicação relevante de níveis preocupantes. Verificam-se assim valores elevados e representativos da hora de ponta da manhã e da tarde. A terça-feira foi o dia com temperaturas mais altas e vento mais fraco, o

que propiciou valores médios mais elevados. A quinta-feira, dia com alguma nebulosidade e humidade, apresentou valores mais baixos que os restantes dias.

A diferença dos valores resultantes da medição no Jumbo e da medição na varanda é significativa (resultados apresentados na Tabela 5.4). O volume de carros é similar, apesar da diferença de meia hora, pois até às 10h ainda se considera ser hora de ponta.

Tabela 5.4 – Concentração média de partículas inaláveis (PM_{10}) registadas no Jumbo e na varanda do CascaisVilla, em $\mu g/m^3$

Jumbo	Varanda CascaisVilla
54	44

Estando a varanda a sensivelmente 12 m do solo, esta diferença de valores entre os locais 1 e 2 deve-se à distância à fonte emissora e também ao facto de a 12 m de altitude se verificarem, à partida, velocidades de vento superiores que ao nível do solo, dispersando assim os poluentes emitidos na zona, o que consequentemente se traduz em concentrações mais reduzidas.

As amostragens na Av. Dom Pedro I tiveram início às 10h20 e terminaram às 10h50 de cada dia, altura em que o tráfego começa a reduzir mas, como se trata de uma avenida de quatro faixas, há constante movimento automóvel durante o dia. Os valores registados pelo equipamento portátil de medição são apresentados na Figura 5.8.

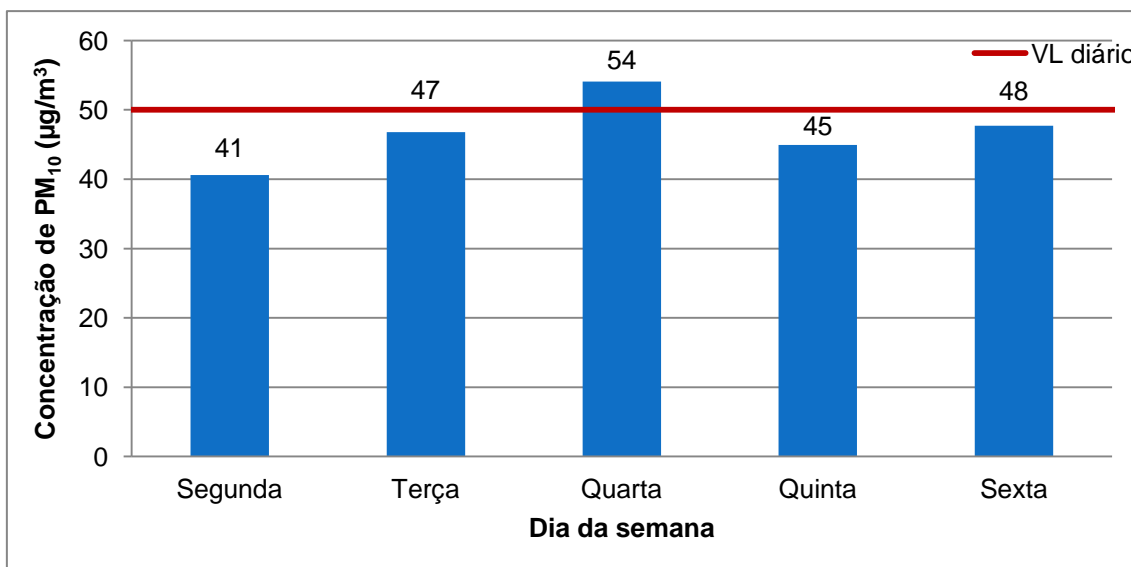


Figura 5.8 – Concentração média de partículas inaláveis (PM_{10}) na avenida Dom Pedro I

Os níveis elevados registados na quarta-feira são explicados pela existência da feira/mercado nesse dia (mais veículos a circular, mais poeiras no ar). Nos restantes dias, os valores são consideravelmente elevados.

Por ser neste local que está instalada a EQA, procedeu-se a uma comparação entre os valores recolhidos na campanha e os valores registados na EQA e obtidos através do *site* da APA (<http://qualar.apambiente.pt/>). Tendo em atenção que os valores da EQA correspondem a valores horários e os valores da campanha são referentes a metade desse tempo, meia hora, apresenta-se a Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Concentração média de partículas inaláveis (PM₁₀) registadas na EQA e medidas através do equipamento portátil durante a semana da campanha

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
Valores da EQA entre as 10h e as 11h	25	29	39	24	45
Valores da campanha (10h20 – 10h50)	41	47	54	45	48

Verifica-se uma diferença substancial entre as concentrações medidas através do equipamento portátil e os valores registados pela estação de monitorização de qualidade do ar. Mesmo tendo em conta que os períodos não são exatamente os mesmos, as diferenças de concentrações são relevantes, apesar de correlacionadas, exceto na sexta-feira, dia em que as concentrações médias são muito próximas (mas em que também se verificou mais vento e portanto uma provável homogeneização maior das partículas no ar-ambiente). Mesmo sendo o local um pouco diferente, esta diferença de valores reflete a incerteza associada ao equipamento portátil de medição e a representatividade limitada dos dois locais em causa.

Quanto aos percursos, os resultados médios obtidos estão presentes na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Concentração média de partículas inaláveis (PM₁₀) nos dois percursos realizados, em µg/m³

	Segunda	Quarta	Quinta	Sexta
Percurso 1	38	41	32	38
Percurso 2	33	40	30	41

Calculando a média para os quatro dias de medições em cada percurso, o primeiro ronda os 37 µg/m³ e o segundo apresenta uma concentração média de PM₁₀ de 36 µg/m³.

Os valores registados ao longo dos dois percursos, uma vez que possuem ambos uma extensão de aproximadamente três km, são mais facilmente analisáveis através de um mapa do que através de médias diárias, que nada permitem concluir acerca dos locais por onde se passou. Resultaram, então, os mapas apresentados na Figura 5.9 e na Figura 5.11, que representam a média dos quatro dias em que os percursos foram realizados. Foram também elaborados os perfis médios diários para cada percurso (Figura 5.10 e Figura 5.12).



Figura 5.9 – Mapa da concentração média de partículas inaláveis (PM₁₀) no percurso 1, em µg/m³

(https://www.google.com/fusiontables/embedviz?q=select+col1+from+1sdnfmCpErNgsj6_DtL5JZWHRrAQ_7Sx0LAMqM34P&viz=MAP&h=false&lat=38.693139956068684&lng=-9.427546748161376&t=3&z=16&l=col1&y=2&tmplt=2&hml=TWO_COL_LAT_LNG)

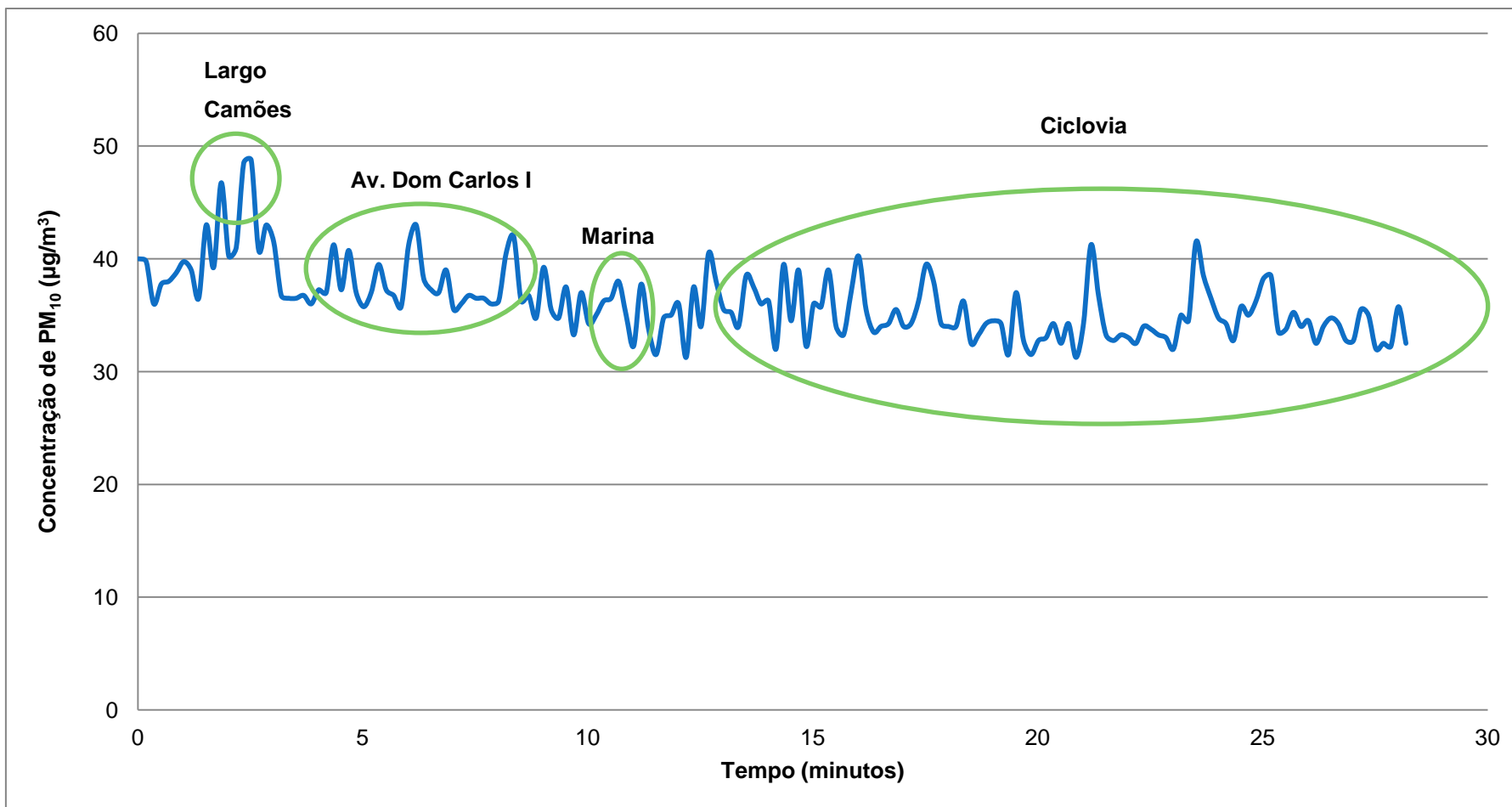


Figura 5.10 – Perfil da concentração média de partículas inaláveis (PM₁₀) no percurso 1

No troço que vai desde o jardim visconde da luz até ao centro cultural de cascais, ao cimo da Av. Dom Carlos I, os valores variam entre $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valores que podem ser considerados relativamente elevados, nomeadamente numa área onde é proibida a circulação automóvel (desde o Largo de Camões até à praça 5 de outubro). Nesta zona onde não circulam veículos detetou-se valores de concentração de PM_{10} acima dos $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o que pode ser explicado pelo facto de ser um espaço pouco arejado, rodeado de edifícios com mais de um andar e com muitas esplanadas e restaurantes, o que provoca a emissão de partículas por parte das pessoas (tabaco) e por parte das chaminés dos estabelecimentos. Nesta zona existe uma maior atividade durante o verão, daí os valores, neste troço do percurso, serem mais elevados do que no inverno.

Desde o início da Av. Dom Carlos I que o percurso passa a ser na costa, ou seja, do lado direito encontra-se o oceano atlântico e do lado de dentro, lado esquerdo, expande-se a vila. Uma vez mais arejado, é a partir do CCC e da marina que os níveis começam a baixar para valores na ordem dos $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A ciclovia do Guincho, como é popularmente conhecida, demonstra ser um local com uma boa qualidade do ar no que respeita às PM_{10} , apesar de, em todo o seu comprimento, estar lado a lado com uma faixa de rodagem (na figura anterior é visível esta mudança, quando ocorre a passagem da predominância do amarelo para o verde). Existem troços da ciclovia em que a divisão entre a estrada e a ciclovia é marcada pela existência de arbustos, arbustos estes que poderão conduzir a uma ligeira melhoria da qualidade do ar.

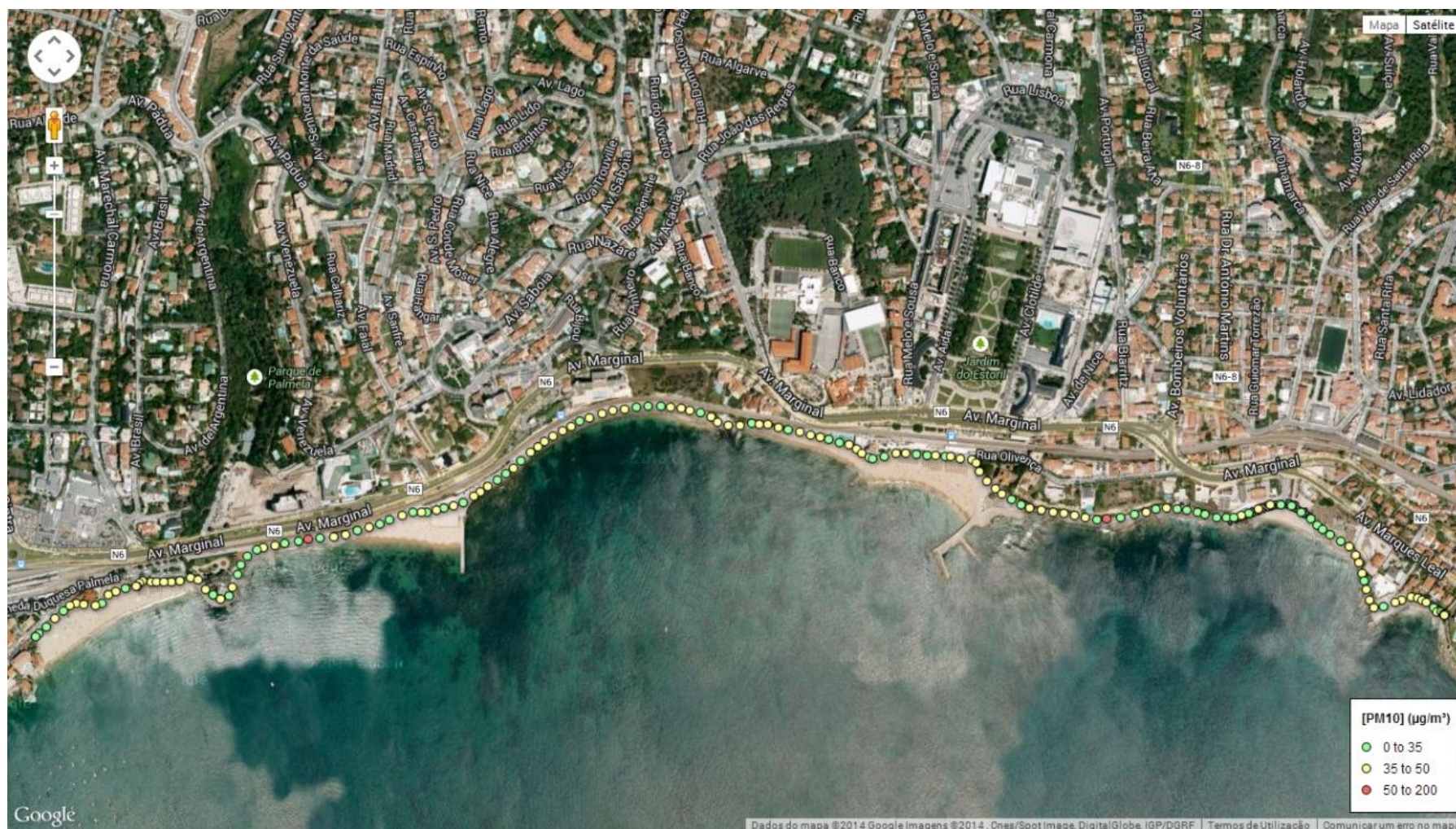


Figura 5.11 – Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM₁₀) no percurso 2, em µg/m³ (https://www.google.com/fusiontables/embedviz?q=select+col1+from+1-zZ3oE420ThRzOoxKm_8HCZLhRbTn5uADLu3ljD&viz=MAP&h=false&lat=38.70032329364491&lng=-9.403970190304904&t=3&z=16&l=col1&y=2&tplt=2&hml=TWO_COL_LAT_LN)

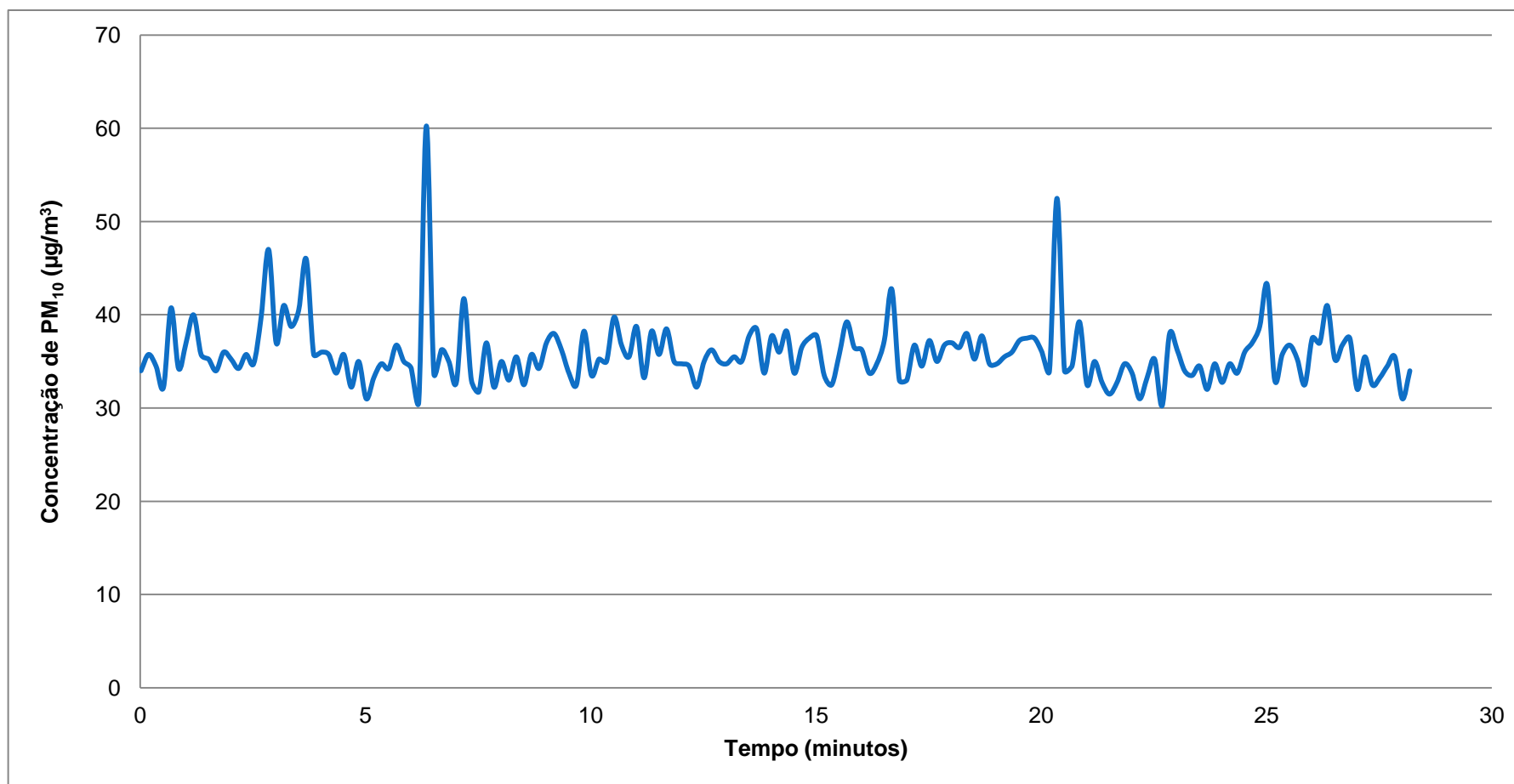


Figura 5.12 – Perfil da concentração média de partículas inaláveis (PM₁₀) no percurso 2

O paredão, à semelhança do percurso 1, tornou-se zona de eleição para a prática de exercício físico por parte de muitos habitantes do concelho. Trata-se de um passeio à beira mar que une várias praias da linha e utilizado por muitos não só para se exercitarem mas também para se deslocarem sem utilizar qualquer tipo de transporte. Bastantes pessoas o utilizam como espaço de lazer, usufruem dos vários estabelecimentos existentes na sua extensão (cafés e restaurantes) e passeiam os animais de estimação, entre outras atividades passíveis de ser praticadas ao ar livre e à beira-mar.

Em geral, os resultados obtidos na campanha de verão para o percurso 2 apontam para valores aceitáveis. Contudo, é de notar dois pontos em que a concentração de PM_{10} ultrapassa os $50 \mu g/m^3$. Sendo período de verão, o mar está calmo e não existe rebentação nem efeito do vento sobre a crista das ondas suficientemente fortes para explicar este valor (estes processos mecânicos fazem com que pequenas bolhas de água do mar, ao secar, produzam partículas de sal na atmosfera e se dispersem, o que faz do *spray* marinho uma das principais fontes naturais emissoras de PM_{10} nas zonas costeiras) (Comissão Europeia, 2004; Rodrigues, 2009). Então, estes picos de concentração de partículas podem ser provenientes da emissão de automóveis pesados de mercadorias, que circulam no paredão para cargas e descargas dos estabelecimentos.

Como existe uma divisão bem definida entre a av. marginal e o paredão, em grande parte formada por um muro alto e com vegetação, espera-se que as partículas aqui presentes sejam oriundas de processos que no paredão ocorrem, ou seja, não existe transporte e dispersão das partículas do mar para o continente nem do continente para o mar, devido à barreira (nem sempre artificial) criada. É necessário ter em conta que também a vegetação contribui para os níveis de PM_{10} , bem como os frequentes trabalhos de jardinagem.

O primeiro pico ($60 \mu g/m^3$) coincide com uma zona onde não existe esta barreira. É um troço adjacente à linha de comboios da CP (comboios de Portugal), que se encontra numa elevação superior à do paredão.

5.3. Campanha de inverno

De 10 a 14 de março realizou-se a campanha de inverno. Estava previsto ter ocorrido no mês de fevereiro mas, devido à intensa precipitação que se fez sentir neste período, o mesmo não foi possível. Os valores máximos e mínimos de temperatura e de velocidade do vento podem ser lidos na Tabela 5.7 – **Valores semanais de temperatura (°C) e velocidade do vento (m/s)** 5.7.

Tabela 5.7 – Valores semanais de temperatura (°C) e velocidade do vento (m/s) (WindGURU, 2014)

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
T (°C)	13 - 15	14 - 15	16 - 17	16 - 17	15 - 16
v_{vento} (m/s)	5 - 6	5	1 - 2	1	3

Na Figura 5.13 encontram-se os valores recolhidos na medição do dia 11 de março, dia em que não foram realizados os percursos. Ambos representam uma média horária: das 9h às 10h no Jumbo e das 10h05 às 11h05 na varanda do centro comercial.

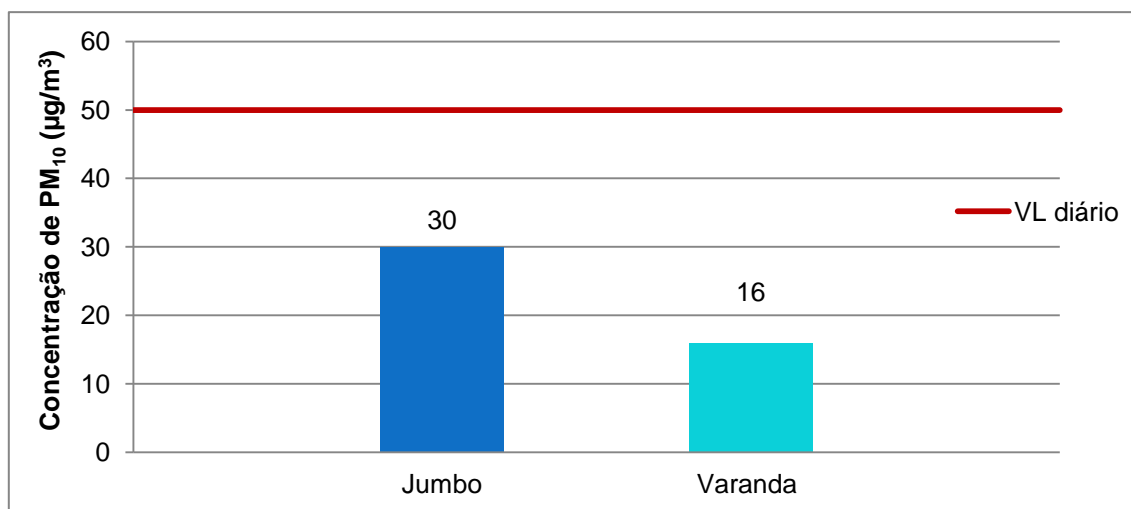


Figura 5.13 – Concentração média de partículas inaláveis (PM₁₀) no Jumbo e na varanda do CascaisVilla

Os 30 µg/m³ registados no Jumbo mantêm-se bastante aquém dos valores registados neste mesmo local durante a campanha de verão (média de 54 µg/m³). Ter em consideração que na campanha de inverno os valores dizem respeito a apenas um dia e que a recolha teve a duração de uma hora (contrastando com os 30 minutos no verão).

Na varanda do CascaisVilla a diferença também é significativa. No verão a média está nos 44 µg/m³ (mesmo assim mais elevada que o Jumbo no inverno), o que perfaz uma diferença de 28 µg/m³ para os 16 µg/m³ registados na medição de hora de inverno, também esta de uma hora.

Assim, apesar da diferença relativa entre os dois locais permanecer semelhante à campanha de verão (valores mais elevados no Jumbo em comparação com a varanda), o facto do dia em que decorreu a amostragem ter sido particularmente ventoso deverá estar na origem de valores tão reduzidos em ambos os locais.

A Tabela 5.8 – **Concentração média de partículas inaláveis (PM₁₀) nos dois percursos realizados, em µg/m³** 5.8 reúne as médias de concentração de PM₁₀ diárias em cada percurso.

Tabela 5.8 – Concentração média de partículas inaláveis (PM₁₀) nos dois percursos realizados, em µg/m³

	Segunda	Quarta	Quinta	Sexta
Percurso 1	16	43	57	34
Percurso 2	18	38	56	28

Os baixos valores do primeiro dia de medições podem ser explicados devido à velocidade do vento ser mais elevada nesse dia (6 m/s e 5 m/s), o que faz com que os poluentes, nomeadamente as partículas, sejam transportadas para longe do seu local de emissão. Neste

caso, a principal fonte de emissão são os veículos automóveis, cujos poluentes emitidos pelo tubo de escape são levados para distâncias consideráveis, através da ação do vento.

O terceiro dia apresenta os valores mais elevados desta campanha. Neste dia, ao contrário do que aconteceu na segunda-feira, o vento fraco não permitiu a dispersão das partículas, tendo como consequência maiores concentrações medidas. Os resultados obtidos encontram-se mapeados nas Figuras 5.14 e Figura 5.16. As Figuras 5.15 e 5.17 dizem respeito aos perfis médios para cada percurso.

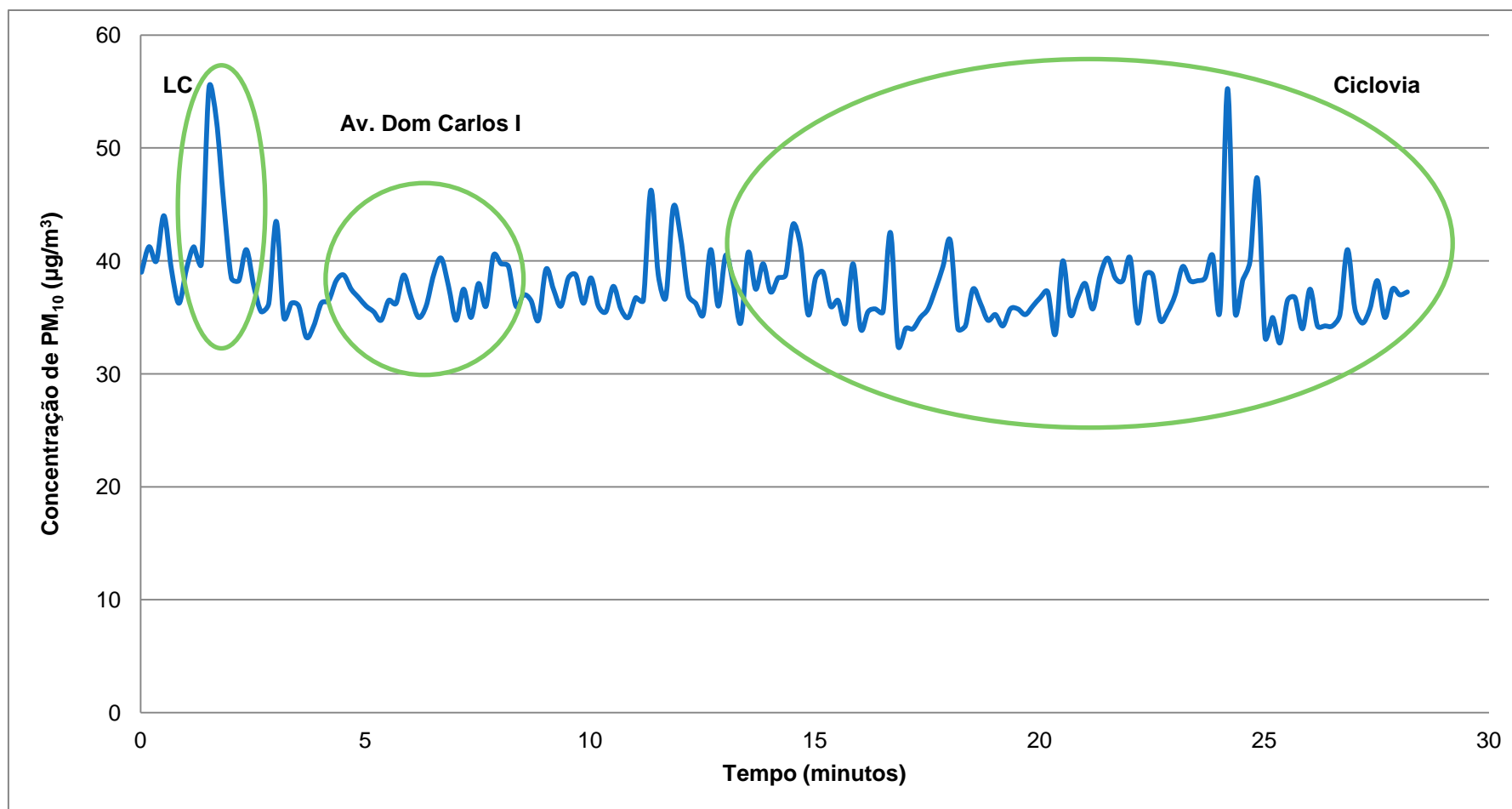


Figura 5.15 – Perfil da concentração média de partículas inaláveis (PM₁₀) no percurso 1

Logo no início do percurso, em direção ao Largo Camões, foram detetados dois valores consecutivos acima dos $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que acontecem devido a um pico neste local registado na segunda-feira. Pode dever-se à passagem junto a um veículo motorizado que se encontrasse nesta zona que, embora restrita à circulação automóvel, é habitualmente utilizada por fornecedores de mercadorias. Ao contrário do que se verificou na campanha de verão, em que os valores baixaram a partir da marina, no inverno os níveis demonstram-se constantes e com poucas variações, situando-se maioritariamente no intervalo de $[35; 50] \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Os dias de inverno em que foi realizada a campanha (de 10 a 14 de março) caracterizam-se por céu limpo e temperaturas na ordem dos 15°C durante o dia e mais frias à noite (média de 14°C). Sabe-se que, em dias frios e com sol intenso, gera-se uma situação de elevada estabilidade atmosférica devido ao acentuado arrefecimento das camadas de ar junto ao solo, que se dá depois de anoitecer, uma vez que durante o dia estas são aquecidas pelo calor da superfície do solo. Isto faz com que as camadas atmosféricas superficiais sejam mais frias que as camadas mais altas (fenómeno de inversão térmica), o que impede uma adequada dispersão dos poluentes. Isto explica os valores mais elevados no percurso 1 na campanha de inverno, em comparação com a de verão.

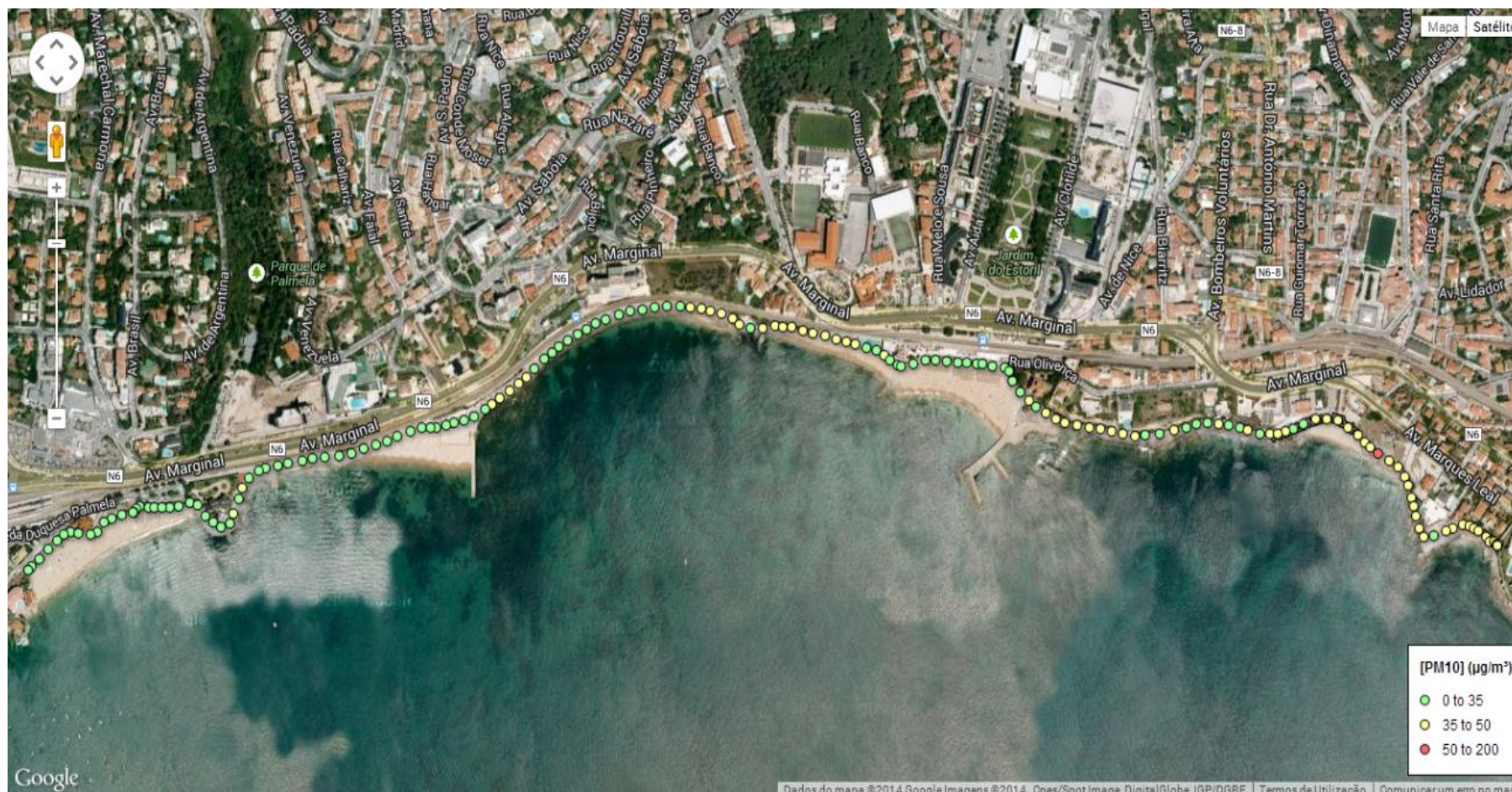


Figura 5.16 – Mapa das concentrações de partículas inaláveis (PM₁₀) no percurso 2, em µg/m³

(https://www.google.com/fusiontables/embedviz?q=select+col1+from+1X79MOMfXlCfm6OnC7DeBiQlxJ8_3nplv4mQM3nj9&viz=MAP&h=false&lat=38.700006235172665&lng=-9.393337854385436&t=3&z=16&l=col1&y=2&tmplt=2&hml=TWO_COL_LAT)

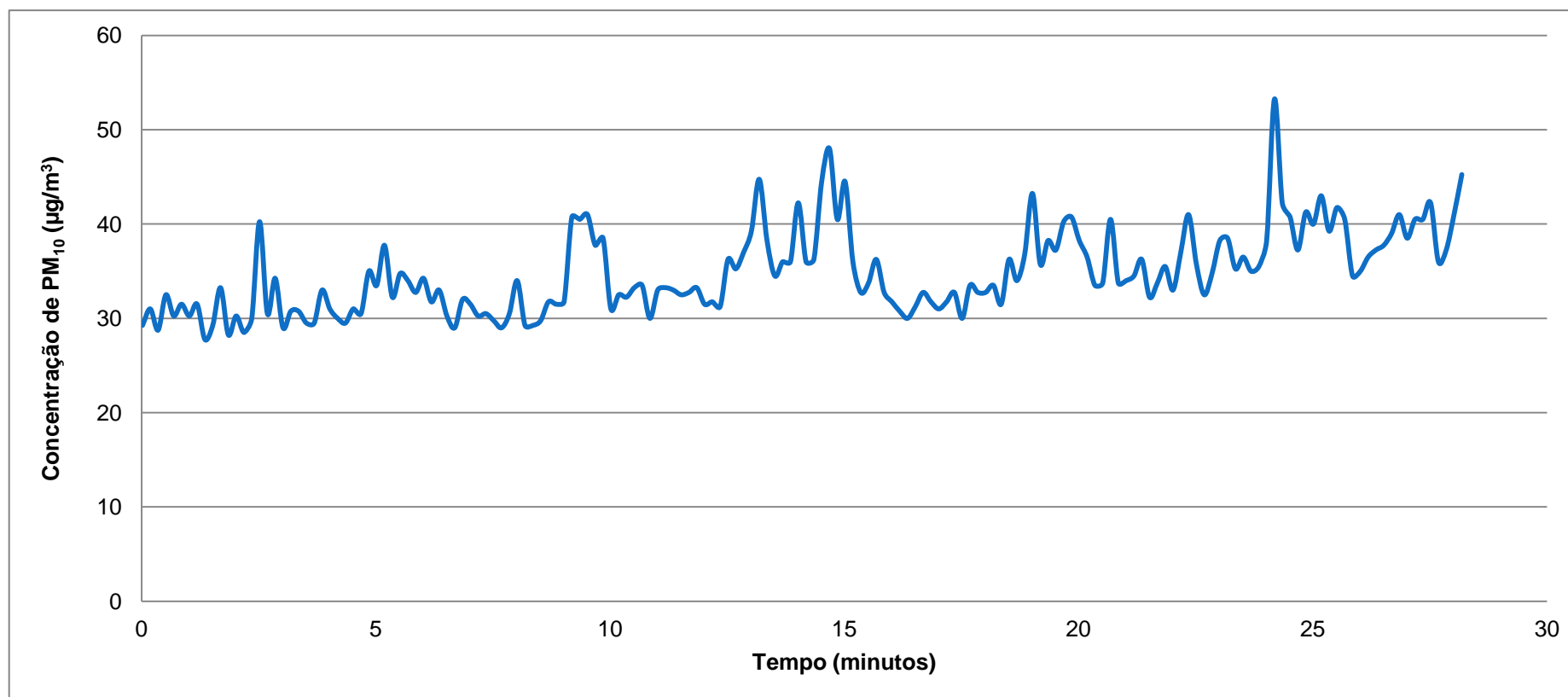


Figura 5.17 – Perfil da concentração média de partículas inaláveis (PM₁₀) no percurso 2

Ao contrário do que aconteceu no percurso 1, este segundo percurso revelou valores mais baixos no inverno que no verão (ver Tabela 5.9). No inverno, a média do percurso não ultrapassa os $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, como se pode constatar na Figura 5.16, pela superioridade de pontos verdes. O único valor acima dos $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ acontece devido a um pico que ocorre na quarta-feira; não se tratando de uma zona de esplanada nem de passagem de veículos (mesmo de mercadorias), não se consegue identificar a razão específica deste valor mais elevado. Na Tabela 5.9 encontram-se as concentrações média de partículas inaláveis (PM_{10}) por percurso e por campanha.

Tabela 5.9 – Concentração média de partículas inaláveis (PM_{10}) por percurso e por campanha em $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Verão	Inverno
Percurso 1	37	38
Percurso 2	37	35

Ambos os percursos foram realizados numa média de 30 minutos e apresentam valores satisfatórios no que toca ao cumprimento do limite legal. O percurso 1 apresenta valores mais elevados no inverno. Assim se confirma a teoria de que no inverno os poluentes de origem primária apresentam, geralmente, concentrações mais elevadas. Tal acontece porque nos meses mais frios dá-se uma diminuição da camada de mistura e as condições meteorológicas condicionam a dispersão dos poluentes, conduzindo a uma maior concentração e acumulação dos mesmos. Também nesta altura do ano o aquecimento doméstico com recurso ao uso de biomassa pode ter alguma influência nos resultados.

O percurso 2 apresenta uma média relativamente mais baixa que o percurso 1 na campanha de inverno. Ao contrário do primeiro, o segundo percurso não é acompanhado por uma estrada ao lado, o que reduz substancialmente as emissões no local. No entanto, e contrariamente ao que seria de esperar, é no verão que se encontram as concentrações mais elevadas de PM_{10} no paredão. Sendo uma zona de praia, o percurso 2 apresenta maior atividade nos meses de verão. É nesta altura do ano que há maior afluência ao paredão, facto que pode explicar os níveis de PM_{10} mais elevados neste percurso.

Ambos apresentam boa qualidade do ar e não representam risco para a exposição humana. Contudo, a melhoria da qualidade do ar é um trabalho constante, havendo sempre aspetos a melhorar. Embora no paredão não seja possível fazer-se grande diferença, no percurso 1 existem medidas que podem ser levadas em conta. No capítulo seguinte (capítulo 6) são apresentadas algumas propostas com vista à melhoria da qualidade do ar em Cascais.

A fim de se estudar também a zona envolvente da EQA Cascais-Mercado nesta segunda campanha, efetuaram-se medições num ponto fixo na Av. Dom Pedro I. As medições realizaram-se a alturas diferentes (a 40 cm e a 80 cm do solo) e, tendo em conta que não foi possível fazer uma análise às duas alturas em simultâneo, as mesmas foram efetuadas em horas consecutivas (das 9h às 10h e das 10h03 às 11h03). Apesar de a diferença entre as

duas medições ser de uma hora, o volume de tráfego foi sensivelmente o mesmo, o que permite a comparação entre os valores.

Estas últimas medições foram feitas na segunda-feira que sucedeu a semana da campanha de inverno (17 março 2014), dia em que a temperatura, à hora das medições, rondava os 15 °C e o vento fazia-se sentir a uma velocidade de 3 m/s.

A Tabela 5.10 apresenta os dados obtidos nas medições com recurso ao *sidepak* e apresenta também os dados registados na EQA de Cascais, no mesmo período de tempo em que foram recolhidos os dados no dia 17 de março, para fins comparativos.

Tabela 5.10 – Concentração média de partículas inaláveis (PM₁₀) na Av. Dom Pedro I, no dia 17 de março de 2014

Período (h)	9h – 10h	10h03 – 11h03
Altura (cm)	40	80
Dados do equipamento portátil (µg/m³)	82	80
Dados da EQA (µg/m³) (não validados)	48	48

Comparando com os dados recolhidos pelo equipamento portátil e os dados recolhidos pela EQA de Cascais, estes últimos são inferiores, não chegando a ultrapassar o VL diário, ao contrário dos dados recolhidos na campanha, uma vez que não há nenhum que esteja abaixo dos 50 µg/m³. A EQA encontra-se no lado oposto ao lado escolhido para a recolha de dados, está em terreno inclinado e encontra-se mais afastada da via do que o ponto de recolha através do equipamento portátil, que se situou a cerca de 1 m da faixa de rodagem. Estes dois fatores, para além de alguma sobrestimação pelo equipamento portátil, tiveram certamente influência nos valores. Os resultados destas medições a diferentes alturas podem ser lidos nas Figuras 5.18 e 5.19.

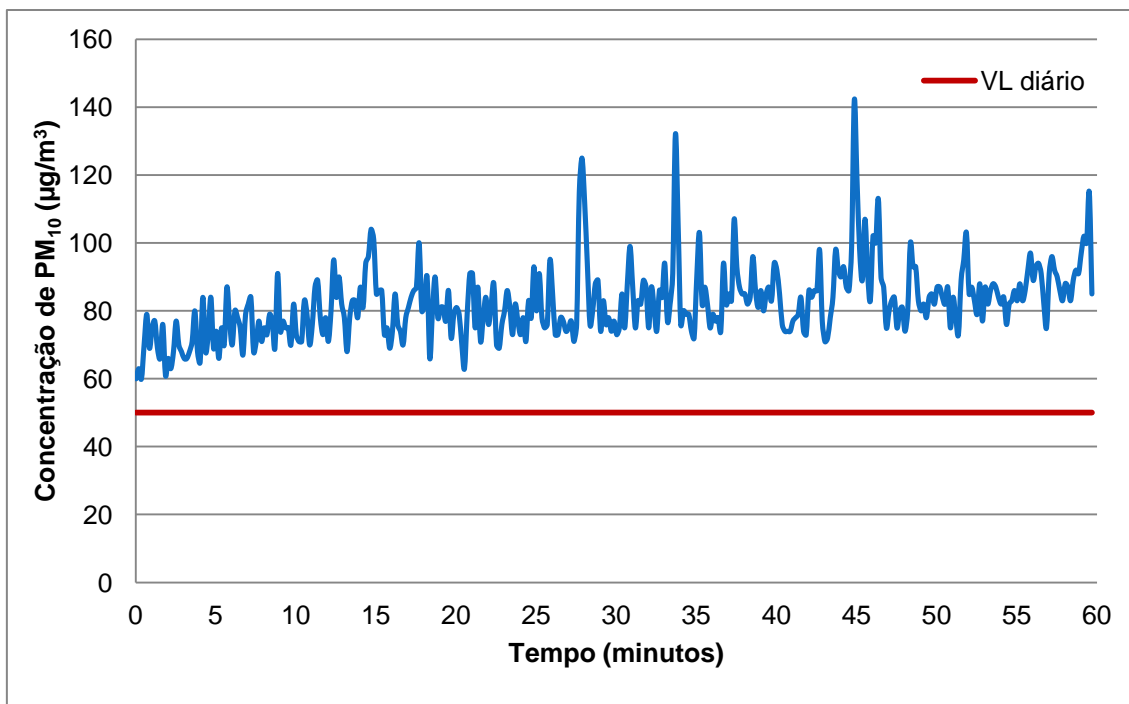


Figura 5.18 – Concentração de partículas inaláveis (PM₁₀) na Av. Dom Pedro I, a 40 cm acima do solo, das 9h às 10h

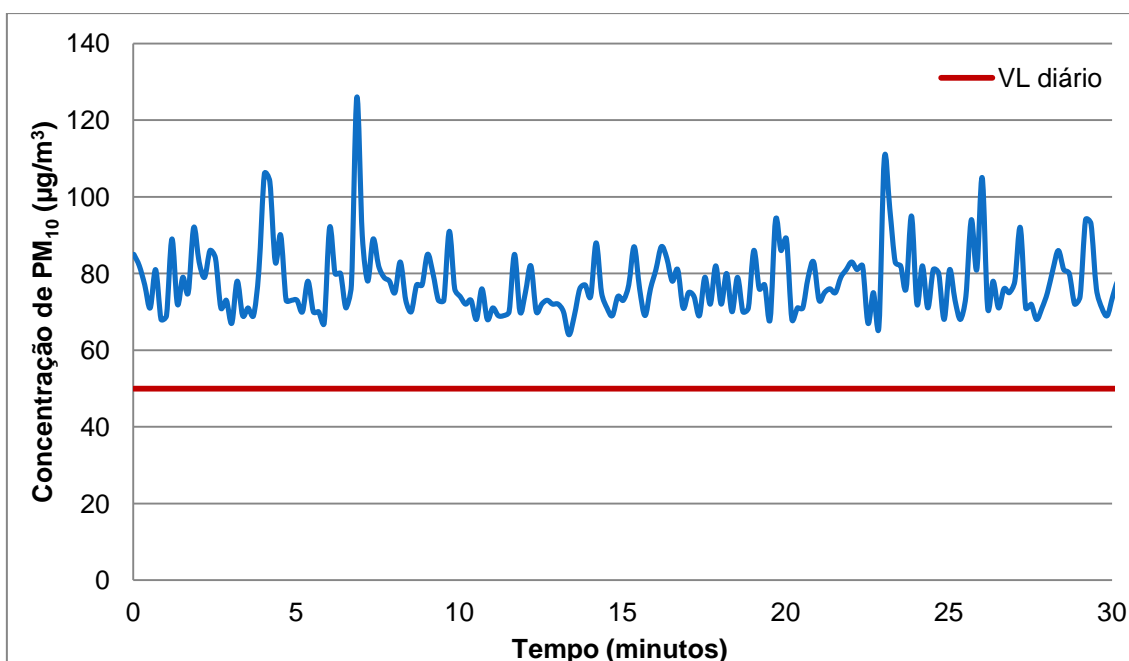


Figura 5.19 – Concentração de partículas inaláveis (PM₁₀) na Av. Dom Pedro I, a 80 cm acima do solo, das 10h03 às 11h03

Na primeira situação os valores são mais estáveis. Entre as 9h e as 9h30 o volume de carros foi superior e constante, o que fez com que os níveis de PM₁₀ não variassem muito nesse período. A partir das 9h30, como o tráfego diminuiu sensivelmente, começam a surgir mais picos de valores. Acontece que, como há menos veículos a circular nesta estrada de quatro faixas no mesmo sentido, a passagem de uma viatura faz com que os níveis subam, voltando a

baixar até que haja outro veículo que passa e aumenta novamente os valores. Portanto, nos momentos em que não circule ninguém (muito raro) ou que circulem poucos veículos, os níveis são mais baixos; nos momentos em que há uma maior afluência de carros ou nos momentos em que passa somente um carro, os valores sobem, criando assim os picos de concentração.

Os níveis de PM_{10} nesta avenida são consideravelmente elevados. As médias horárias ($82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respetivamente) ultrapassam o valor limite para a proteção da saúde humana. Trata-se de uma zona de tráfego cujas características físicas e geográficas são propícias à acumulação de poluentes; é uma zona com alguma inclinação e com vários semáforos. A amplitude de concentrações evidencia o contributo do tráfego rodoviário para a concentração de PM_{10} .

5.4. Limitações

Como referido anteriormente, a ocorrência de um problema técnico no aparelho portátil impossibilitou a realização dos dois percursos na terça-feira da campanha de verão. Como tal, e com o intuito de haver uma coerência nos resultados, os mesmos também não foram percorridos na terça-feira da campanha de inverno.

Outra das limitações inerente à realização das campanhas diz respeito ao facto de os percursos terem sido realizados a pé, facto esse que acarreta alguma incerteza (± 2 minutos) quanto aos valores. A incerteza deve-se a não se ter percorrido ambos os percursos à mesma hora, ou seja, não se passou em todos os locais, em todos os dias, à mesma hora (diferença de minutos e/ou segundos).

6. RECOMENDAÇÕES

Apesar de as normas e leis europeias para a qualidade do ar terem sido acordadas há mais de uma década (à exceção das $PM_{2,5}$, que apenas foram reguladas em 2008), ainda é comum detetar-se vários incumprimentos no que toca à proteção da saúde humana para as partículas, ozono e dióxido de azoto (EEA, 2013a). Quatro em cinco europeus dizem que a EU deve propor mais medidas para resolver os problemas de qualidade do ar na Europa (EEA, 2013b).

Se o objetivo passa por diminuir os níveis de partículas nas zonas urbanas, o setor do tráfego rodoviário é aquele que requer maior intervenção. Este capítulo visa auxiliar na resolução e mitigação de problemas relacionados com a qualidade do ar no concelho de Cascais.

O acompanhamento ideal da qualidade do ar passa por combinar a utilização de modelos com a monitorização em tempo real. Os modelos preveem e avaliam a qualidade do ar e a monitorização em tempo real permite verificar se as previsões estão corretas, criando-se assim uma sinergia em constante aperfeiçoamento. Uma das particularidades dos modelos é que estes fornecem informações numa maior escala, valores esses que podem não ser abrangidos pela EQA da zona. Como em todo o município de Cascais existe apenas uma estação de monitorização, a utilização de modelos pode ser útil no cálculo da exposição a PM_{10} a que toda a população residente no concelho está sujeita, uma vez que os dados serão mais abrangentes e não apenas baseados na EQA Cascais-Mercado. Este método é provado pela EEA e é utilizado em várias cidades europeias.

Os modelos de qualidade do ar podem ser utilizados com vários propósitos, sendo um deles a elaboração de prognósticos. É possível ter uma ideia sobre a qualidade do ar em situações meteorológicas críticas no curto prazo, até, e elaborar quadros de planeamento a longo prazo.

A EQA situa-se no centro da vila de Cascais mas o município é constituído por 4 freguesias, com um total de habitantes residentes que ultrapassa os 205 000. A exposição da população aos poluentes atmosféricos varia consoante muitos fatores, considerando-se, por isso, insuficiente os dados obtidos pela EQA Cascais-Mercado para caracterizar a qualidade do ar no concelho. Para uma melhor e mais ativa monitorização da qualidade do ar propõe-se a utilização de dispositivos/sensores como alguns dos apresentados no subcapítulo 2.7.2, que facultará mais e novos dados acerca de zonas não monitorizadas antes.

A existência ou plantação de vegetação parece ser uma medida fácil de concretizar mas, no entanto, esta é uma solução ambígua. Vos *et al.*, 2012 concluem, no estudo intitulado “*To tree or not to tree*”, que a existência de árvores à beira das estradas afeta negativamente a qualidade do ar local, pois propicia uma maior concentração de poluentes de tráfego, na medida em que reduz a sua dispersão. Paradoxalmente, Tallis *et al.*, 2011, recomendam que, para uma boa qualidade do ar ao nível da cidade, a plantação de árvores seja feita junto das fontes emissoras.

Uma solução já adotada na cidade de Lisboa e comprovada em contribuir para a melhoria da qualidade do ar nas cidades é a criação de zonas de emissões reduzidas (ZER). As ZER são áreas onde a entrada e circulação de veículos mais poluentes é restrita. Os veículos são, geralmente, caracterizados pela sua tipologia e pelas normas Euro (normas de emissões definidas em diretivas da UE), e os de normas menos exigentes não são autorizados a circular em determinados períodos. Os requisitos para limitação de veículos ficam a cargo da autarquia em articulação com entidades regionais e nacionais. A redução de tráfego e a promoção de uma mobilidade mais sustentável são o caminho para uma boa qualidade do ar nas zonas urbanas.

A questão da limpeza das ruas pode ser decisiva para a concentração local de PM_{10} , dependendo do tipo de limpeza. A prática de varrer a rua leva um decréscimo temporário (3h a 4h) dos níveis de partículas (Chang *et al.*, 2005). É fundamental a sua remoção para que não se verifique uma recirculação de partículas (depositam-se novamente e voltam a sofrer ressuspensão). Amato *et al.*, 2010, analisaram vários artigos e concluíram que a prática mais aconselhada para mitigar a ressuspensão de partículas consiste em varrer as ruas e de seguida proceder à lavagem com água, para encaminhar as partículas para o sistema de esgotos. Chang *et al.*, 2005 chegaram à mesma conclusão. Não se deverá esperar uma diferença muito significativa e, por isso, as autoridades locais devem promover e desenvolver campanhas e estudos de pesquisa destinados ao seu município, a fim de compreender os procedimentos que trazem mais benefícios à qualidade do ar na zona.

Tendo em conta os resultados obtidos no capítulo anterior, segue-se uma lista de pequenas alterações que conduziriam a uma melhor qualidade no ar em Cascais:

- Substituir a utilização de sopradores mecânicos de limpeza por parte da CascaisAmbiente por uma metodologia próxima das anteriormente mencionadas;
- Preço dos bilhetes de BusCas (autocarro que percorre o centro de Cascais e as zonas envolventes ao centro) mais reduzidos aos fins de semana (constatou-se um progressivo aumento dos níveis de PM_{10} aos sábados);
- Acordo entre a CMC e a CP para reduzir a tarifa dos bilhetes de ida e volta também aos fins de semana – nos meses de verão há muitas pessoas que poderiam evitar o uso de automóvel se o transporte público fosse mais acessível;
- No percurso 1 foi registada a existência de arbustos de altura baixa, entre a estrada e a ciclovia. Sendo este um local no litoral, onde a ventilação é constante, teriam que ser realizados estudos com o intuito de compreender se a vegetação entre a estrada e a ciclovia é prejudicial ou benéfica à saúde humana, tanto de quem circula nos veículos como de quem utiliza a ciclovia;
- No paredão (percurso 2) deveria ser limitado um horário para entregas de mercadorias, preferencialmente antes da hora de fecho dos estabelecimentos. Assim, durante a

noite dá-se uma dispersão adequada dos poluentes emitidos pelos veículos sem afetar os períodos de maior circulação pedonal na área.

7. CONCLUSÕES

Em 2013, o diretor executivo da EEA, Hans Bruyninckx, afirma: “a poluição do ar está a causar danos na saúde humana e nos ecossistemas. Tendo em conta as normas em vigor, grande parte da população não vive em ambientes saudáveis. A Europa tem que ser ambiciosa e ir para além da legislação.” (EEA, 2013f).

Neste estudo foi analisada a exposição da população de Cascais à poluição atmosférica no ambiente. Os cidadãos europeus passam a maior parte do tempo no interior de edifícios mas a exposição pessoal depende também dos níveis de poluentes no exterior, que podem afetar a qualidade do ar interior ao penetrar nos edifícios.

Por outro lado, e como referido no capítulo 3.2., pensa-se que, em 2007, tenham ocorrido 24 mortes devido a elevadas concentrações de PM_{10} em Cascais. É sabido que não existe um limite abaixo do qual a concentração de PM_{10} não provoque danos na saúde, o que significa que a existência de partículas na atmosfera é sempre prejudicial, por mais reduzida que seja. Tal como referido em Perez *et al.*, 2006, ainda não foram identificados níveis seguros de exposição para alguns poluentes, entre eles as partículas e o ozono troposférico.

Os grupos de indivíduos sensíveis são os que mais sofrem com a presença deste poluente. Portanto, e mesmo que se esteja perante uma zona com boa qualidade do ar, a poluição atmosférica não deve ser um assunto menosprezado, pois pode-se sempre melhorar a qualidade do ar que respiramos, beneficiando assim a saúde humana. Vários estudos demonstraram uma ligação entre a redução do nível de certos poluentes e o aumento do nível de saúde (WHO, 2004).

Relativamente à qualidade do ar conclui-se o seguinte:

- Em geral, face aos resultados obtidos e tendo apenas em conta as PM_{10} , a qualidade do ar em Cascais é boa. Tal deve-se a uma boa dispersão dos poluentes e a uma frota automóvel cada vez mais recente e com menores emissões por quilómetro. O município está dotado de uma boa rede de transportes. Em pleno centro da vila localiza-se a estação de comboios da CP e do outro lado da rua, no piso 0 do CascaisVilla, encontra-se o terminal de autocarros da Scotturb. Existem ainda três postos de disponibilização gratuita de bicicletas (“Bicas”) durante todo o ano;
- As zonas de tráfego intenso (av. marginal e av. Dom Pedro I) apresentaram valores de PM_{10} problemáticos.

Relativamente à componente monitorização da qualidade do ar:

- A localização da EQA Cascais-Mercado deverá ser repensada dado que se encontra numa zona com um semáforo nas proximidades e com alguma inclinação, o que aparenta proporcionar níveis de poluição mais elevados;
- A utilização do equipamento de monitorização portátil (*sidepak*) revelou-se útil tanto para as medições fixas (locais 1, 2 e 3), como para as medições móveis (percursos 1 e 2) na avaliação da qualidade do ar em tempo real ao nível local, proporcionando a capacidade para um diagnóstico simples e consistente.

Desenvolvimentos futuros:

- A evolução da tecnologia permitiu introduzir novas metodologias de monitorização da qualidade do ar. Numa era onde o uso de *smartphones* se tornou trivial, a sua utilização no campo científico tem vindo a ser desenvolvida. Hoje em dia já é possível a um cidadão comum participar na rede de monitorização da qualidade do ar da sua cidade. A utilização de pequenos dispositivos de monitorização é mais proveitosa na análise da exposição pessoal (fornece valores mais próximos da verdadeira exposição, uma vez que acompanham as pessoas no seu dia a dia), do que os valores obtidos através de estimativas baseadas em dados recolhidos nas estações de monitorização da qualidade do ar ou em resultados de modelos. Apesar de alguma incerteza, o futuro pode passar por uma maior massificação da utilização de equipamentos desta natureza;
- O estímulo e a criação de mecanismos simples que aliem a tecnologia à participação da população consegue tornar a população mais consciente dos riscos da qualidade do ar e melhorar os seus hábitos, alterando o seu estilo de vida;
- A poluição devida a PM_{10} tem uma forte componente local mas também regional, tratando-se de um problema complexo que torna necessária a elaboração de estratégias que visem diferentes escalas simultaneamente. É necessário haver mais monitorização, tão diversificada e complementar quanto possível, cobrindo do curto ao longo prazo, para se conseguir avaliar a situação e tomar medidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Air quality egg. (2014). *Air quality egg*. Obtido em 15 de janeiro de 2014, de Air quality egg, community-led sensing network: <http://airqualityegg.com/>

AirQualityEgg. (2014). *AirQualityEgg*. Obtido em 15 de janeiro de 2014, de Wikispaces - AirQualityEgg: <http://airqualityegg.wikispaces.com/AirQualityEgg>

Almeida, C. S. (2010). *Planos de mobilidade no contexto da melhoria da qualidade do ar em Lisboa*. Lisboa: Faculdade de ciências e tecnologia da universidade nova de Lisboa.

Amato, F., Querol, X., Johansson, C., Nagl, C., & Alastuey, A. (2010). A review on the effectiveness of street sweeping, washing and dust suppressants as urban PM control methods. *Science of the Total Environment*, 408, pp. 3070–3084.

APA (Agência Portuguesa do Ambiente). (2006). *Previsão do índice de qualidade do ar e meteorologia*. Obtido em 5 de novembro de 2013, de PREVQUALAR - Previsão do índice da qualidade do ar: http://www.prevqualar.org/jsp/pt/justificacoes_pt.jsp

APA (Agência Portuguesa do Ambiente). (2013). *2013 - Ano do ar*. Obtido em 3 de junho de 2013, de Agência Portuguesa do Ambiente: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=82&sub2ref=883>

APA (Agência Portuguesa do Ambiente). (2014a). *O que é a qualidade do ar?* (APA) Obtido em 7 de julho de 2013, de QualAR - Base de dados on-line sobre qualidade do ar: <http://www.qualar.org/?page=5&subpage=3>

APA (Agência Portuguesa do Ambiente). (2014b). *Partículas em suspensão*. (Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.) Obtido em 26 de novembro de 2013, de Agência Portuguesa do Ambiente: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=82&sub2ref=316&sub3ref=383>

APA (Agência Portuguesa do Ambiente). (2014c). *Informações, Índice de qualidade do ar*. Obtido em 11 de dezembro de 2013, de QualAR - Base de dados on-line sobre qualidade do ar: <http://www.qualar.org/INDEX.PHP?page=1&subpage=4>

APA (Agência Portuguesa do Ambiente). (2014d). *A legislação actual sobre qualidade do ar*. Obtido em 20 de maio de 2013, de QualAR - Base de dados on-line sobre a qualidade do ar: <http://www.qualar.org/?page=5&subpage=5>

APA (Agência Portuguesa do Ambiente) e LRA (Laboratório de Referência do Ambiente). (2008). *Determinação do factor equivalência entre método referência e automático PM10 - Estação de Referência do Ambiente 2008*. Amadora: APA.

Bales, E., Nikzad, N., Quick, N., Ziftci, C., Patrick, K., & Griswold, W. (2012). *Citisense: Mobile Air Quality Sensing for Individuals and Communities - Design and deployment of the Citisense mobile air-quality system*. Department of Computer Science and Engineering, . San Diego: University of California.

Barros, N., Fontes, T., & Brás, C. (2005). *Impacte do tráfego rodoviário na qualidade do ar da cidade do Porto*. Centro de modelação e análise de sistemas ambientais. Porto: Universidade Fernando Pessoa.

Bell, M. L., Samet, J. M., & Dominici, F. (2004). Time-series studies of particulate matter. *Annual Reviews Public Health* , 25, pp. 247-280.

Blanchard, C., Carr, E., Collins, J., Smith, T., Lehrman, D., & Michaels, H. (1999). Spatial representativeness and scales of transport during the 1995 integrated monitoring study in California's San Joaquin Valley. *Atmospheric Environment* , 33, pp. 4775-4786.

Boucher, O., Randall, D., Artaxo, P., Bretherton, C., Feingold, G., Forster, P., Kerminen, V-M., Kondo, Y., Liao, H., Lohmann, U., Rasch, P., Satheesh, S.K., Sherwood, S., Stevens, B., Zhang, X-Y. (2013). *Clouds and Aerosols*. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Borowiak, A., & Dentener, F. (2006). *Remote sensing of air pollution*. Institute for Environment and Sustainability, European Commission, Joint Research Centre. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

Borrego, C., Valente, J., Carvalho, A., M Lopes, E. S., & Miranda, A. (2000). Contribution of residential wood combustion to PM₁₀ levels in Portugal. *Atmospheric Environment* , 34, pp. 4683-4690.

Borrego, C., Techepele, O., Barros, N., & Miranda, A. I. (2010). Impact of road traffic emissions on air quality of the Lisbon region. *Atmospheric Environment* , pp. 4683-4690.

Borrego, C., Miranda, A. I., Arroja, L., Fidélis, T., Castro, E. A., & Gomes, A. P. (2013). *Comunicações apresentadas na 10ª Conferência Nacional do Ambiente/XII Congresso Nacional do Ambiente*. Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Brás, H. S. (2012). *Avaliação dos benefícios da implementação de Zonas de Emissões Reduzidas em Lisboa*. Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Burke, J., Estrin, D., Hansen, M., Parker, A., Ramanathan, N., Reddy, S., Srivastava, M. B. (2006). *Participatory sensing*. Center for Embedded Networked Sensing (CENS). Los Angeles: University of California.

Casimiro, E., Almeida, S., & Gomes, A. (2010). *Plano estratégico de Cascais face às alterações climáticas - sector saúde*. Cascais: Câmara Municipal de Cascais.

CCDR-LVT (Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo). (2012). *Ambiente - Qualidade do ar*. (DDRI - Divisão de documentação e recursos informáticos) Obtido em 8 de janeiro de 2014, de Comissão de coordenação e desenvolvimento regional: <http://www.ccdr-lvt.pt/pt/qualidade-do-ar/7133.htm#3>

Chang, Y.-M., Chou, C.-M., Su, K. T., & Tseng, C.-H. (2005). Effectiveness of street sweeping and washing for controlling ambient TSP. *Atmospheric Environment*, 39, pp. 1891-1902.

CMC. (2007). *Enquadramento do concelho de Cascais*. Agenda Cascais 21. Cascais: Câmara Municipal de Cascais.

CMC (Câmara Municipal de Cascais). (2010). *Plano estratégico de Cascais face às alterações climáticas - brochura institucional*. Cascais: Câmara municipal de Cascais.

CMC (Câmara Municipal de Cascais). (2014a). *História*. Obtido em 5 de junho de 2013, de Câmara Municipal de Cascais: <http://www.cm-cascais.pt/sub-area/historia>

CMC (Câmara Municipal de Cascais). (2014b). *Qualidade do ar*. Obtido em 5 de junho de 2013, de Câmara Municipal de Cascais: <http://www.cm-cascais.pt/qualidade-do-ar>

CMO (Câmara Municipal de Oeiras). (2014). *Estação de Monitorização da Qualidade do Ar*. Obtido em 24 de abril de 2014, de Câmara Municipal de Oeiras: <http://www.cm-oeiras.pt/amunicipal/Ambiente/QualidadedoAr/Paginas/EstacaodeMonitorizacao.aspx>

Comissão Europeia. (2000). *A UE e a qualidade do ar*. Direcção-Geral do Ambiente. Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias.

Comissão Europeia, CAFE Working Group on Particulate Matter. (2004). *Second position paper on particulate matter*. European Commission.

Courtesy Cornell University and World Science staff. (2007). *Pollution causes four in 10 deaths, survey finds*. Obtido em 11 de julho de 2013, de World science: http://www.world-science.net/othernews/070814_disease.htm

DCEA-FCT/UNL (Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa). (2010). *Poluição e gestão do ar, 2010/2011. Qualidade do ar ambiente e emissões - monitorização*. Caparica.

DCEA-FCT/UNL (Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa). (2012). *Avaliação da qualidade do ar no concelho de Cascais*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente. Caparica: FCT/UNL.

DCEA-FCT/UNL (Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa), CCDR-LVT (Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo), & CRSPLVT (Centro Regional de Saúde Pública de Lisboa e Vale do Tejo). (2005). *PM Lx - Diagnóstico e metodologia para o estudo dos efeitos das partículas finas na cidade de Lisboa*. Lisboa.

De Saeger, E., & Abreu, P. F. (2007). *EuroLifeNet Project - Preliminary results from 2006 and 2007 campaigns*. Lisboa.

Devarakonda, S., Sevusu, P., Liu, H., Liu, R., Iftode, L., & Nath, B. (2013). *Real-time air quality monitoring through mobile sensing in metropolitan areas*. Rutgers University, Department of Computer Science. Piscataway, NJ: Department of Computer Science, Rutgers University.

DL n.º 102/2010. (2010). *Decreto-lei n.º 102/2010, de 23 de setembro*. Ministério do ambiente e do ordenamento do território.

Duan, N. (1982). *Models for human exposure to air pollution*. Washington, D. C.: The U.S. Department of Health and Human Services.

EEA (European Environment Agency). (2013a). *Legislação relativa à qualidade do ar na Europa*. Obtido em 7 de outubro de 2013, de European Environment Agency: <http://www.eea.europa.eu/pt/sinais-da-aea/sinais-2013/artigos/legislacao-relativa-a-qualidade-do>

EEA (European Environment Agency). (2013b). *EEA Signals 2013 - Every breath we take, Improving air quality in Europe*. Copenhagen: Publications Office of the European Union.

EEA (European Environment Agency). (2013c). *Air quality in Europe - 2013 report*. Copenhagen : Publications Office of the European Union.

EEA (European Environment Agency). (2013d). *Poluição atmosférica*. Obtido em 7 de outubro de 2013, de European Environment Agency: <http://www.eea.europa.eu/pt/themes/air/intro>

EEA (European Environment Agency). (2013e). *Air pollution fact sheet 2013 - Portugal*. Copenhagen: European Environment Agency.

EEA (European Environment Agency). (2013f). *Air pollution still harming health across Europe*. Obtido em 9 de janeiro de 2014, de European Environment Agency: <http://www.eea.europa.eu/media/newsreleases/air-pollution-still-causing-harm>

EEA (European Environment Agency). (2014a). *AirBase v.7*. Obtido em 7 de janeiro de 2014, de <http://discomap.eea.europa.eu/map/EEABasicviewer/?appid=ddc8c4e408584d9d965a014c167210a4>

EEA (European Environment Agency). (2014b). *Mobile applications*. Obtido em 14 de janeiro de 2014, de European Environment Agency: <http://www.eea.europa.eu/mobile/apps#europeair>

EPA (United States Environmental Protection Agency). (2004). *Air Quality Criteria for Particulate Matter - Volume I*. National Center for Environmental Assessment-RTP Office.

EPA (United States Environmental Protection Agency). (2012a). *Black carbon - basic information*. Obtido em 15 de dezembro de 2013, de United States Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/blackcarbon/basic.html>

EPA (United States Environmental Protection Agency). (2012b). *EPA progress report, 2012*. United States environmental protection agency. Science and Research at the U.S. Environmental Protection Agency: Office of research and development.

EPA (United States Environmental Protection Agency). (2013). *Particulate Matter (PM)*. (EPA) Obtido em 9 de Novembro de 2013, de United States Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/airquality/particlepollution/index.html>

EPA (United States Environmental Protection Agency). (2014a). *Particulate Matter (PM) - Basic information*. Obtido em 11 de dezembro de 2013, de United States Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/airquality/particlepollution/basic.html>

EPA (United States Environmental Protection Agency). (2014b). *Particulate Matter (PM) - Health*. Obtido em 13 de dezembro de 2013, de United States Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/airquality/particlepollution/health.html>

Fenger, J. (1999). Urban air quality. *Atmospheric Environment* , 33, pp. 4877-4900.

Ferreira, F., Tente, H., & Torres, P. (2002). Air quality in major portuguese urban agglomerations. *Water, Air, and Soil Pollution* , pp. 103-114.

Ferreira, J. C. (2007). *Relação qualidade do ar e exposição humana a poluentes atmosféricos*. Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento. Aveiro: Universidade de Aveiro.

Ferreira, F., Gomes, P., Marques, R., & Pereira, P. (2009). *Acções de monitorização da qualidade do ar no centro de Cascais*. Caparica: DCEA – FCT/UNL.

Field, R. A., Ballesta, P. P., Caracena, A. B., Nikolova, I., Connolly, R., Cao, N., Gerboles, M., Buzica, D., Amantini, L., Lagler, F., Borowiak, A., Marelli, L., De Santi, G., De Saeger, E. (2005). *Population exposure to air pollutants in europe (PEOPLE) - Methodological strategy and basic results*. Institute for Environment and Sustainability, European Commission, Joint Research Centre. Italy: Emissions and Health Unit.

Georgopoulos, P., Isukapalli, S., Burke, J., Napelenok, S., Palma, T., Langstaff, J., Majeed, M., He, S., Byun, D., Cohen, M., Vautard, R. (2009). Air quality modeling needs for exposure assessment from the source-to-outcome perspective. *Air and waste management associations magazine for environmental managers* , pp. 26-34.

Grantz, D. A., Garner, J. H., & Johnson, D. (2003). Ecological effects of particulate matter. *Environment International* , 29, pp. 213-239.

Greenbaum, D. S., Bachmann, J. D., Krewski, D., Samet, J. M., White, R., & Wyzga, R. E. (2001). Particulate air pollution standards and morbidity and mortality: case study. *American Journal of Epidemiology* , 154, pp. 78-90.

Harrison, R. M., & Yin, J. (2000). Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health? *The Science of the Total Environment* , 249, pp. 85-101.

Hasenfratz, D., Saukh, O., Sturzenegger, S., & Thiele, L. (2012). *Participatory air pollution monitoring using smartphones*. ETH Zurich, Switzerland, Computer Engineering and Networks Laboratory, ETH Zurich, Switzerland, 2nd International Workshop on Mobile Sensing, Beijing, China.

Hertel, O.; De Leeuw, F.; Raaschou-Nielsen, O.; Jensen, S.; Gee, D.; Herbarth, O.; Pryor, S.; Palmgren, F.; Olsen, E. (2001). Human exposure to outdoor air pollution (IUPAC technical report). *Pure and applied chemistry* , 76, pp. 933-958.

IARC (International Agency for Research on Cancer). (2013). *IARC: Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths*. Lyon: WHO.

INE (Instituto Nacional de Estatística). (2012). *Censos - Resultados definitivos. Região Lisboa - 2011*. Obtido em 4 de maio de 2013, de Instituto Nacional de Estatística, IP: http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=156651739&PUBLICACOESTema=55466&PUBLICACOESmodo=2

Inhabitat.com. (2012). *CitiSense is a Portable Air Pollution Monitoring Device that Sends Data to Your Smart Phone*. Obtido em 7 de janeiro de 2014, de Inhabitat:

<http://inhabitat.com/citisense-is-a-portable-air-pollution-monitoring-device-that-sends-data-to-your-smart-phone/>

Jaeger-Voirol, A., & Pelt, P. (2000). PM₁₀ emission inventory in Ile de France for transport and industrial sources PM10 re-suspension, a key factor for air quality. *Environmental Modelling & Software* , 15, pp. 575-581.

JRC e outros. (2003). *Relatório do projecto PEOPLE em Lisboa*. Lisboa

Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution* , 151, pp. 362-367.

Karanasiou, A., Moreno, N., Moreno, T., Viana, M., Leeuw, F. d., & Querol, X. (2012). Health effects from Sahara dust episodes in Europe: Literature review and research gaps. *Environment International* , 47, pp. 107-114.

Lindau, F. G. (2011). *Estudo da qualidade do ar na região urbana de Porto Alegre: variabilidade nas concentrações do parâmetro partículas inaláveis*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Departamento de engenharia química, Porto Alegre.

Mesquita, S., Gomes, P., Pereira, P., & Monjardino, J. (2012). *Avaliação da qualidade do ar no concelho de Cascais*. Caparica: DCEA-FCT/UNL.

Moschandreas, D. L., & Saxena, S. (2002). Modeling exposure to particulate matter. *Chemosphere* , 49, pp. 1137-1150.

NASA (National Aeronautics and Space Administration). (2014). *Applied Remote Sensing Training - Air Quality*. (NASA) Obtido em 10 de fevereiro de 2014, de National Aeronautics and Space Administration - Goddard Space Flight Center: <http://airquality.gsfc.nasa.gov/>

Nikzad, N., Verma, N., Ziftci, C., Bales, E., Quick, N., Zappi, P., Patrick, K., Dasgupta, S., Krueger, I., Rosing, Š, Griswold, W. (2012). CitiSense: Improving Geospatial Environmental Assessment of Air Quality Using a Wireless Personal Exposure Monitoring System. *Wireless Health* .

Norma, C. F. (2008). *Efeito de eventos naturais na qualidade do ar - avaliação dos métodos de identificação*. Faculdade de ciências e tecnologia, universidade Nova de Lisboa, Departamento de ciências e engenharia do ambiente. Lisboa: FCT/UNL.

Ostro, B., Tobias, A., Querol, X., Alastuey, A., Amato, F., Pey, J., Pérez, N. (2011). The effects of particulate matter sources on daily mortality: a case-crossover study of Barcelona, Spain. *Environmental health perspectives* , 119, pp. 1781-1787.

Perez, A. T., Jardim, D., Ferreira, F., Mesquita, S., & Monjardino, J. (2006). *Estratégia Temática Sobre Poluição Atmosférica*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional. Amadora: Instituto do Ambiente.

Phalen, R. F., & Phalen, R. N. (2013). *Introduction to air pollution science - A public health perspective*. Introduction to Air Pollution Science.

Pope III, C. A., & Dockery, D. W. (2006). Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. *Journal of the Air & Waste Management Association* , 56, pp. 709-742.

Puxbaum, H., Caseiro, A., Sánchez-Ochoa, A., Kasper-Giebl, A., Claeys, M., Gelencsér, A., Legrand, M., Preunkert, S., Pio, C. (2007). Levoglucosan levels at background sites in Europe for assessing the impact of biomass combustion on the European aerosol background. *Journal of geophysical research* , 112.

Raju, H. P., Partheeban, P., & Hemamalini, R. R. (2012). Urban mobile air quality monitoring using GIS, GPS, sensores and internet. *International Journal of Environmental Science and Development* , 3, pp. 323-327.

Rodrigues, S. C. (2009). *Determinação da origem do aerossol atmosférico nas cidades de Coimbra e Porto*. Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento. Aveiro: Universidade de Aveiro.

Rojas, C. S. (2013). *Condições meteorológicas e níveis de poluição na região metropolitana de Lima - Perú*. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. São Paulo: Universidade de São Paulo.

Sá, M. E. (2008). *Previsão da exposição humana à poluição atmosférica a nível nacional*. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Aveiro: Universidade de Aveiro.

Stafoggia, M., Samoli, E., Alessandrini, E., Cadum, E., Ostro, B., Berti, G., Faustini, A., Jacquemin, B., Linares, C., Pascal, M., Randi, G., Ranzi, A., Stivanello, E., Forastiere, F. (2013). *Short-term associations between fine and coarse particulate matter and hospitalizations in southern Europe: results from the MED-PARTICLES Project*. Italy: Environmental health perspectives.

Tallis, M., Taylor, G., Sinnette, D., & Freer-Smith, P. (2011). Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments. *Landscape and Urban Planning* , 103, pp. 129-138.

Tente, H. (2005). *Impacte das partículas em suspensão sobre a saúde humana: uma abordagem multidisciplinar para a cidade de Lisboa*. Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento. Aveiro: Universidade de Aveiro.

TSI. (2014). *SIDEPAK Personal Aerosol Monitor AM510*. Obtido em 10 de fevereiro de 2014, de TSI: <http://www.tsi.com/sidepak-personal-aerosol-monitor-am510/#Accessories>

Umweltbundesamt. (2004). *Determination and evaluation of ambient air quality - Manual of ambient air monitoring - Third, revised edition*. Berlim: Environmental Research of the Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.

University of Southern California. (2010). *USC News*. Obtido em 12 de janeiro de 2014, de <http://news.usc.edu/#!/article/29255/Monitor-the-Air-With-a-Smartphone>

União Europeia. (2014). *Gestão e qualidade do ar ambiente*. (Departamento de Comunicação da Comissão Europeia) Obtido em 20 de maio de 2013, de Sínteses da legislação da UE: http://europa.eu/legislation_summaries/other/l28031a_pt.htm

Variable. (2013). *Sensory platforms that connect apps and smart devices to the real world*. Obtido em 25 de janeiro de 2014, de Variable: <http://shop.variableinc.com/products/multiple-platform-node>

Vos, P. E., Maiheu, J., & Janssen, S. (2012). Improving local air quality in cities: To tree or not to tree? *Environmental Pollution*, pp. 1-10.

WHO (World Health Organization). (2004). *Health aspects of air pollution, results from the WHO project "Systematic review of health aspects of air pollution in Europe"*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

WHO (World Health Organization). (2005). *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. Geneva: WHO.

WHO (World Health Organization). (2006). *Health impact of PM₁₀ and ozone in 13 Italian cities*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

WHO (World Health Organization). (2013). *Health effects of particulate matter - Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia*. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe.

WindGURU. (2014). *Previsões meteorológicas*. Obtido em 2013 e 2014, de WindGURU: http://www.windguru.cz/pt/index.php?sc=574&sty=m_menu

Zhang, Y., Bocquet, M., Mallet, V., Seigneur, C., & Baklanov, A. (2012). Real-time air quality forecasting, part I: History, techniques, and current status. *Atmospheric Environment*, 60, pp. 632-655.